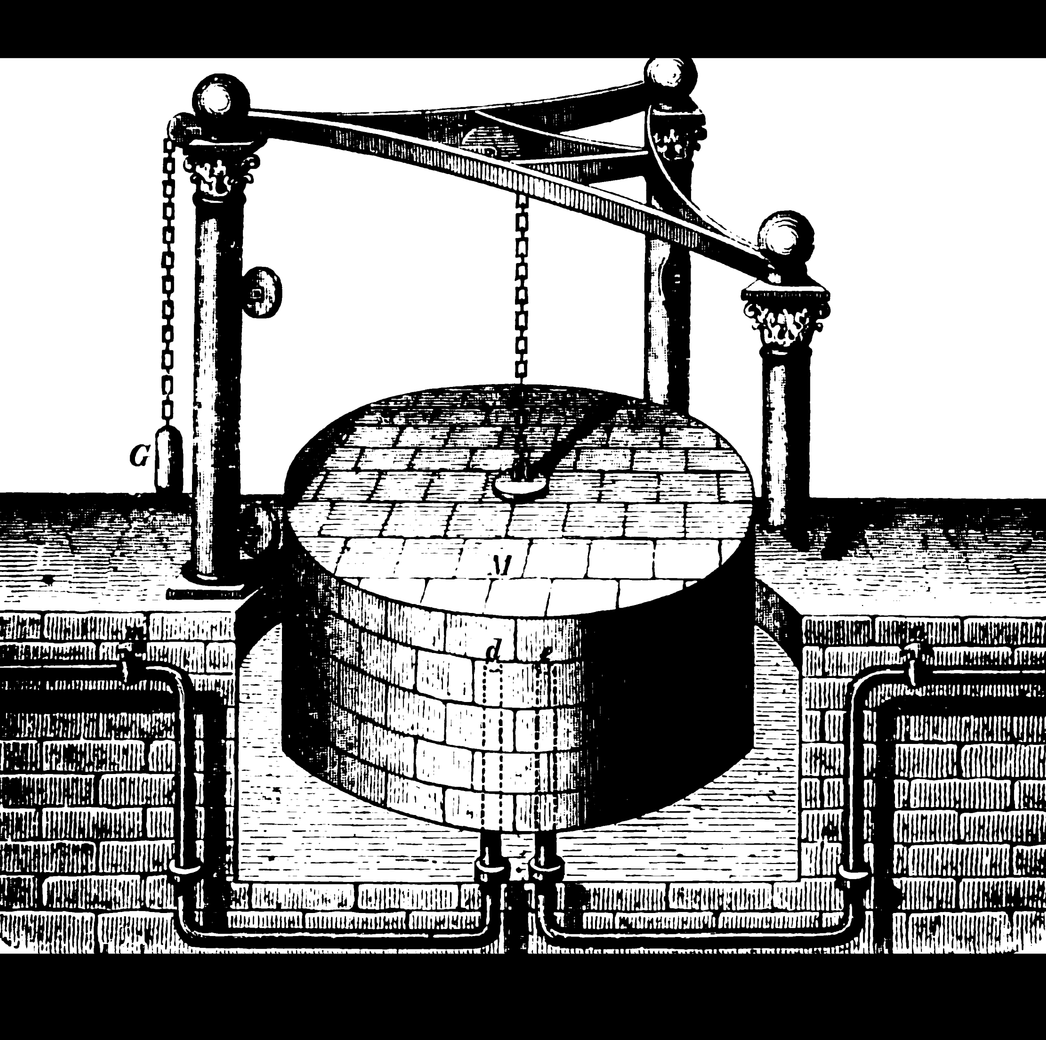
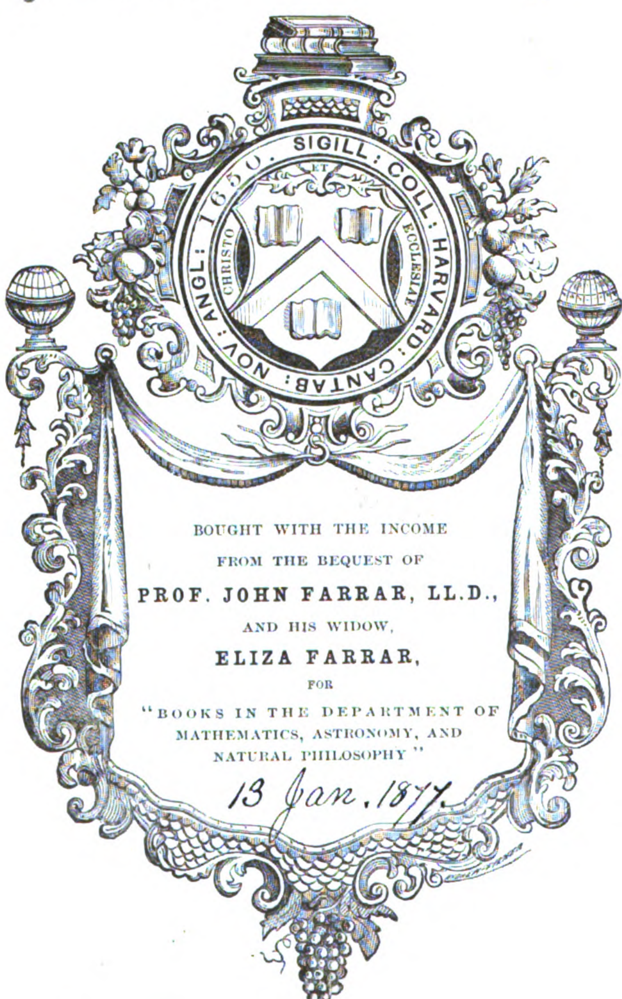


Lehrbuch der physik

S. Subic


SIGILL: COLL: HARVARD: CANTAB: NOV: ANGL: 1650.
CHRISTO ET ECCLESIAE

Dr S. Šubic'

Lehrbuch der Physik.

Lehrbuch der Physik

für

Ober-Gymnasien und Ober-Realschulen

von

Dr. S. ŠUBIC,

k. k. Professor der Physik an der Universität in Graz und Professor an der Grazer Akademie für Handel und Industrie.

Dritte umgearbeitete und verbesserte Auflage.

Buda-Pest.

Verlag von Gustav Heckenast.

1874.

Buchdruckerei des Franklin-Verein.

Inhalts-Verzeichniss.

Erster Abschnitt.

Seite

Einleitung 11

§. 1. Eintheilung unserer Kenntnisse über die Natur; Begriff der Physik 11

A. Allgemeine Eigenschaften der Körper 13

§. 2. Eigenschaften der Körper 13

B. Wirkungen der Molecularkräfte 25

§. 3. Aggregationsformen der Körper 25

§. 4. Arten flüssiger Körper 26

§. 5. Arten fester Körper 27

§. 6. Grösse und Grenze der Elasticität 28

§. 7. Arten der Festigkeit der Körper 29

§. 8. Adhäsion 31

§. 9. Lösung 31

§. 10. Krystallisation 32

§. 11. Chemische Verbindung und ihre Ursache 32

§. 12. Gesetze der chemischen Verbindung 33

§. 13. Die wichtigsten chemischen Verbindungen 36

§. 14. Die wichtigsten Stoffe und ihre Verbindungen in der unorganischen Chemie 38

§. 15. Die Werthigkeit der Atome und der zusammengesetzten Radicale 72

§. 16. Empirische und theoretische Formeln 73

§. 17. Organische Verbindungen 74

§. 18. Besondere chemische Verhältnisse 88

Zweiter Abschnitt.

Vom Gleichgewichte der Körper im Allgemeinen . . . 96

§. 1. Begriff und Eintheilung der Mechanik 96

§. 2. Bestimmungsstücke einer Kraft 96

§. 3. Messen der Kräfte 96

§ 4. Aequivalente Kräfte 97

§. 5. Resultirende Kraft und Componenten 97

§. 6. Leistung oder Arbeitsgrösse einer Kraft 97

Gleichgewicht der Kräfte an Maschinen 98

§. 7. Begriff und Eintheilung der Maschinen 98

Seite
§. 8. Gleichgewicht der Kräfte am Hebel 99
Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte 103
§. 9. Kräfte, die auf einen und denselben Punkt wirken . . . 103
§. 10. Folgerungen aus dem Kräftenparallelogramme 107
§. 11. Kräfte, die auf verschiedene Angriffspunkte wirken . . 110
§. 12. Anwendung des Hebels auf die Wage 114
§. 13. Gleichgewicht der Kräfte am Wellrade 123
§. 14. Gleichgewicht der Kräfte an der Rolle 124
§. 15. Gleichgewicht der Kräfte auf einer schiefen Ebene . . . 126
§. 16. Gleichgewicht der Kräfte an der Schraube 127
§. 17. Gleichgewicht der Kräfte am Keile 129
§. 18. Gleichgewicht der Kräfte an der Kniepresse 129
§. 19. Beurtheilung zusammengesetzter Maschinen 130
§. 20. Leistung der Kräfte an Maschinen 131
§. 21. Bestimmung der Lage des Schwerpunktes eines Körpers . 132
§. 22. Das Gleichgewicht und die Standfähigkeit des Körpers . 136

Dritter Abschnitt.

Von der Bewegung im Allgemeinen 138
§. 23. Die Dynamik 138
§. 24. Gleichförmige Bewegung 139
§. 25. Gleichförmig beschleunigte Bewegung 139
§. 26. Dynamische Messung der Kräfte 142
§. 27. Arbeitsgrösse eines Körpers von der Endgeschwindigkeit v 144
§. 28. Zusammensetzung der Bewegungen 145
§. 29. Krummlinige Bewegung und Fliehkraft 147
§. 30. Wirkung der Fliehkraft bei der Axendrehung der Erde auf ihre Gestalt und auf die Schwerkraft 151
§. 31. Progressive Bewegung 152
§. 32. Drehende oder rotirende Bewegung 153
§. 33. Trägheitsmoment 154
§. 34. Erhaltung der Rotationsebene 156
§. 35. Bewegung der Körper auf einer schiefen Ebene 160
§. 36. Gesetze der Pendelbewegung 162
§. 37. Bewegung geworfener Körper im luftleer gedachten Raume 169
§. 38. Princip der Erhaltung der Kraft 174
§. 39. Centralbewegung und Gravitation 175
§. 40. Anwendung des Gravitationsgesetzes auf die Ebbe und Fluth des Meeres 178
§. 41. Gesetze der durch den Stoss erzeugten Bewegung . . . 180
§. 42. Hindernisse der Bewegung 185

Vierter Abschnitt.

Seite

Hydrostatik 188

§. 1. Aufgabe der Hydrostatik 188

§. 2. Gleichgewicht einer Flüssigkeit, die der Einwirkung äusserer Kräfte ausgesetzt ist 189

§. 3. Princip der Gleichheit des Druckes 190

Gleichgewicht unter dem alleinigen Einflusse der Schwerkraft 192

§. 4. Gleichgewicht gleichartiger Flüssigkeiten in Communicationsgefässen 192

§. 5. Druck einer schweren Flüssigkeit auf den horizontalen Boden des Gefässes 193

§. 6. Druck in der Tiefe und gegen eine Seitenwand des Gefässes 195

§. 7. Gleichgewicht verschiedener Flüssigkeiten in einem Communicationsgefässe 197

§. 8. Das Archimed'sche Princip 197

§. 9. Folgerungen aus dem Archimed'schen Principe 198

§. 10. Gleichgewicht schwimmender Körper 201

§. 11. Bestimmung der Dichte und des specifischen Gewichtes fester und tropfbar flüssiger Körper mittelst der hydrostatischen Wage 202

§. 12. Bestimmung der Dichte flüssiger Körper mittelst der Aräometer 204

Gleichgewicht unter dem vereinten Einflusse der Schwerkraft und der Molecularkräfte 208

§. 13. Molecularkräfte einer tropfbaren Flüssigkeit 208

§. 14. Action einer Flüssigkeit auf sich selbst zufolge der Molecularkräfte 209

§. 15. Gestaltung der Oberfläche einer Flüssigkeit unter dem Einflusse der Molecularkräfte der Flüssigkeit und der Gefässwände 211

§. 16. Erscheinungen in Haarröhrchen und ihre Erklärung . . 213

§. 17. Endosmose und Exosmose 216

Grundlehren der Hydrodynamik 217

§. 18. Torricelli's Theorem oder die Ausflussgeschwindigkeit einer Flüssigkeit aus dem horizontalen Boden des Gefässes . . 217

§. 19. Ausflussmenge der Flüssigkeit 219

§. 20. Bewegung des Wassers in Röhren 221

§. 21. Stoss des fliessenden Wassers 223

Fünfter Abschnitt.

Seite

Aërostatik 225
§. 1. Luftförmige Körper und Maass ihrer Expansivkraft . . 225
A. Statik der Gase 226
§. 2. Druck der atmosphärischen Luft 226
§ 3. Barometer 228
§. 4. Das Mariotte'sche Gesetz 228
§. 5. Das Gay-Lussac'sche Gesetz 233
§. 6. Das vereinigte Mariotte- und Gay-Lussac'sche Gesetz . . 240
§. 7. Luftthermometer 242
§. 8. Einrichtung und Wirkung der Luftpumpe 244
§. 9. Die Quecksilber-Luftpumpe 250
§. 10. Versuche mit der Luftpumpe und ihre Anwendung . . . 251
§. 11. Bestimmung des specifischen Gewichtes und der Dichte der Gase 252
§. 12. Gesetz der Abnahme der Expansivkraft und der Dichte der Atmosphäre mit der Entfernung von der Erdoberfläche, vorausgesetzt, dass die Temperatur und die Schwere in allen Schichten gleich gross ist 254
§. 13. Barometrische Höhenmessung. 255
§. 14. Gewichtsverlust der Körper in der Luft; Wagemanometer; Luftballon 257
§. 15. Anwendung der Expansivkraft und des Lufdruckes . . . 259
§. 16. Gleichgewicht gemengter Gase 263
§. 17. Absorption und Diffusion der Gase 264
B. Statik der Dünste und Dämpfe 271
§. 18. Verdunstung und ihre Ursache 271
§. 19. Gesetze der Dunstbildung 271
§. 20. Bestimmung der Dichte der Dünste. 273
§. 21. Absoluter und relativer Dunstgehalt; Uebergang der Wasserdünste in der Atmosphäre in den tropfbaren Zustand . 275
§. 22. Hygrometrie 277
§. 23. Einfluss der Verdunstung auf die Bewegung der Flüssigkeiten im Organismus 280
§. 24. Dampfmaschine 283
Grundlehren der Aërodynamik 287
§. 25. Ursache der Bewegung luftförmiger Körper. 287
§. 26. Gesetze des Ausströmens ausdehnsamer Flüssigkeiten aus Behältern 288
§. 27. Bewegung der Gase in Röhren 289
§. 28. Stoss der bewegten Luft 291
§. 29. Luftströmungen 292

Sechster Abschnitt.

Seite

Magnetismus 293
§. 1. Natürliche und künstliche Magnete 293
§. 2. Erzeugung permanenter Magnete 294
§. 3. Richtung des beweglichen Magnetes, Erdmagnetismus . . 296
§. 4. Constitution der Magnete. Kraft der Pole. Magnetische Axe 297
§. 5. Der magnetische Meridian. Declination und Inclination . 298
§. 6. Die richtende Kraft des Erdmagnetismus 299
§. 7. Hilfsmittel zur Messung der magnetischen Kräfte 301
§. 8. Gesetze der magnetischen Fernwirkung 302
§. 9. Beurtheilung der magnetischen Kraft einer Nadel 307
§. 10. Bestimmungsstücke des Erdmagnetismus 310
§. 11. Diamagnetismus 317
§. 12. Hypothese zur Erklärung der magnetischen Erscheinungen; Magnetismus des Eisens und des Stahles 318
§. 13. Aufhebung des Einflusses von Eisenmassen auf die Richtung der Magnetnadel 319

Siebenter Abschnitt.

Electricität 321
§. 1. Grunderscheinungen der Electricität 321
§. 2. Gute und schlechte Electricitätsleiter, Isolatoren 321
§. 3. Die zwei entgegengesetzten electrischen Zustände 322
§. 4. Electrisirung durch Vertheilung 323
§. 5. Hypothese zur Erklärung electrischer Erscheinungen . . 323
§. 6. Bedingung des Gleichgewichtes und Gesetze der electrischen Fernwirkung 324
§. 7. Electroscope und Condensatoren 327
§. 8. Electrisirmaschine 329
§. 9. Verstärkungsgläser; electrische Batterie 334
§. 10. Der Electrophor 335
§. 11. Dauer des electrischen Entladungsfunkens und Geschwindigkeit des Stromes 335
Galvanismus 337
§. 12. Fundamentalversuche 337
§. 13. Gesetze der electrischen Spannung 338
§. 14. Volta'sche Ketten 339
§. 15. Electrische Spannung einer Volta'schen Säule und Kette . 340
§. 16. Physiologische Wirkungen des galvanischen Stromes . . . 342
§. 17. Chemische Wirkungen des galvanischen Stromes 343
§. 18. Licht- und Wärmeerscheinungen des galvan. Stromes . . 344

Seite
§. 19. Constante Ketten. Ursache der Stromänderung 346
§. 20. Galvanoplastik 349
§. 21. Galvanische Polarisation 351
§. 22. Wirkung des electrischen Stromes auf eine Magnetnadel . 353
Anwendung der Ablenkung der Magnetnadel 355
§. 23. Galvanometer 355
§. 24. Gesetze der magnetisirenden Wirkung electrischer Ströme . 359
§. 25. Wirkung electrischer Ströme auf einander 361
§. 26. Wirkung eines Magnetes auf einen beweglichen Strom . . 363
§. 27. Electromagnetische Motoren 367
§. 28. Electromagnetische Uhren, Zeiger- und Typentelegraphen . 369
§. 29. Der electromagnetische Telegraph von Morse 371
§. 30. Erregung electrischer Ströme durch Induction 374
§. 31. Thermoelectricität 382
§. 32. Leitungswiderstand 384
§. 33. Der Rheostat 386
§. 34. Das Ohm'sche Gesetz 387
§. 35. Das Ohm'sche Gesetz mit Rücksicht auf die flüssigen Leiter 388
§. 36. Die Abhängigkeit der Stromstärke von der Anzahl und Grösse der Elemente einer electrischen Kette 389
§. 37. Bestimmung der electromotorischen Kraft und des Leitungswiderstandes einer galvanischen Kette 393
§. 38. Stromtheilung 395
§. 39. Uebersicht der bekannten Erregungsweisen der Electricität 397
§. 40. Atmosphärische Electricität; Blitzableiter 398

Achter Abschnitt.

A. Wellenbewegung 401
§. 1. Schwingungen einer gespannten Saite 401
§. 2. Gesetze der einfachsten geradlinigen Schwingungen . . . 402
§. 3. Fortschreitende Wellenbewegung 404
§. 4. Gesetze der fortschreitenden Wellenbewegung 408
§. 5. Fortpflanzungsgeschwindigkeit longitudinaler Schwingungen 411
§. 6. Gesetze transversaler Schwingungen der Saite 414
§. 7. Reflexion der Wellen 418
§. 8. Zusammensetzung der Wellen. Interferenz 420
§. 9. Stehende Schwingungen, erzeugt durch zwei gleiche Wellenzüge, welche in entgegengesetzter Richtung fortschreiten . 426
B. Akustik 429
§. 10. Die Lehre vom Schalle 429
§. 11. Arten des Schalles. Tönende Körper. Grenzen des Gehörs . 430

Seite

§. 12. Fortpflanzung des Schalles, seine Stärke und Geschwindigkeit . . . 431
§. 13. Reflexion des Schalles. Echo . . . 433
§. 14. Absolute und relative Tonhöhe . . . 434
§. 15. Die diatonische Tonleiter . . . 438
§. 16. Tonintervalle und chromatische Tonleiter . . . 440
§. 17. Gesetze des Tönens der Luft in den Pfeifen . . . 441
§. 18. Schwingungen tönender Stäbe . . . 447
§. 19. Resonanz oder das Mittönen der Körper . . . 450
§. 20. Das Gehörorgan . . . 451
§. 21. Klangfarbe. Harmonische Obertöne . . . 452
§. 22. Zusammensetzung oder Interferenz des Schalles . . . 454
§. 23. Kennzeichen der absoluten Gleichheit der Töne. Lissajous Versuche . . . 458

Neunter Abschnitt.

Optik . . . 459
§. 1. Bedingungen des Sehens und Verschiedenheit der Körper bezüglich des Lichtes . . . 459
§. 2. Undulations-Theorie . . . 460
§. 3. Folgen der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes . . . 461
§. 4. Photometrie . . . 464
§. 5. Geschwindigkeit des Lichtes . . . 465
§. 6. Reflexion des Lichtes . . . 466
§. 7. Reflexion des Lichtes an ebenen Spiegeln . . . 468
§. 8. Anwendung ebener Spiegel . . . 470
§. 9. Sphärische Hohlspiegel . . . 472
§. 10. Sphärische Convexspiegel . . . 476
§. 11. Gesetze der einfachen Brechung des Lichtes . . . 477
§. 12. Die Brechung des Lichtes durch Prismen . . . 482
§. 13. Die Farbenzerstreuung . . . 484
§. 14. Fraunhofer'sche Linien . . . 485
§. 15. Spectralanalyse . . . 486
§. 16. Fluorescenz . . . 489
§. 17. Bestimmung des Brechungs-Exponenten durchsichtiger Körper bezüglich der Luft . . . 490
§. 18. Brechung des Lichtes durch sphärische Linsen . . . 492
§. 19. Erscheinungen an Sammel- und Zerstreuungslinsen . . . 495
§. 20. Sphärische Abweichung der durch Linsen gebrochenen Strahlen . . . 498
§. 21. Chromatische Abweichung, achromatische Prismen und Linsen . . . 499
§ 22. Optische Instrumente . . . 503

		Seite
§. 23.	Die Camera obscura	504
§. 24.	Das Auge	505
§. 25.	Accomodation, Kurz- und Weitsichtigkeit	508
§. 26.	Das Stereoskop	510
§. 27.	Grösse, Entfernung und Bewegung der gesehenen Gegenstände	510
§. 28.	Microskope	512
§. 29.	Fernröhre	516
§. 30.	Interferenz des Lichtes	521
§. 31.	Beugung des Lichtes durch enge Spalten	524
§. 32	Farben dünner Blättchen	529
§. 33.	Abnahme der Lichtstärke beim Durchgange durch ein Mittel, und ihr Einfluss auf die natürliche Farbe der Körper	532
§. 34.	Doppelte Brechung des Lichtes	534
§. 35.	Polarisation des Lichtes durch doppelte Brechung	537
§. 36	Erklärung des Polarisationszustandes und der doppelten Brechung	539
§. 37.	Polarisation des Lichtes durch Reflexion und einfache Brechung	541
§. 38.	Farbenerscheinungen an dünnen doppelt brechenden Platten im polarisirten Lichte	543
§. 39.	Polarisationsapparate	545
§. 40.	Circulare und elliptische Polarisation	548
§. 41.	Drehung der Polarisationsebene. Saccharimeter	551
§. 42.	Physiologische und chemische Wirkungen des Lichtes	552
§. 43.	Photographie	553

Zehnter Abschnitt.

Wärme		555
§. 1.	Wärme und Temperatur	555
§. 2.	Mittheilung der Wärme	555
§. 3.	Wärmeleitung und Strahlung	556
§. 4.	Verbreitung der Wärme durch Leitung	557
§. 5.	Verbreitung der Wärme durch Strahlung	559
§. 6.	Instrumente zur Untersuchung der strahlenden Wärme	560
§. 7.	Geradlinige Fortpflanzung, Reflexion, Brechung und Polarisation der Wärmestrahlen	563
§. 8.	Ausstrahlungs- und Absorptionsvermögen der Körper	564
§. 9.	Wirkungen der Wärme: Ausdehnung und Aenderung der Aggregationsform	568
§. 10.	Ausdehnung der Körper durch die Wärme	568
§. 11.	Gesetze der Ausdehnung durch die Wärme. Anwendung	571
§. 12.	Verdampfung und Verdunstung	574

Seite
§. 13. Wärmemessung, specifische Wärme und Wärmecapacität . 579
§. 14. Bestimmung der specifischen Wärme 580
§. 15. Bestimmung der Flüssigkeitswärme der Körper 583
§. 16. Bestimmung der Verdampfungswärme 584
§. 17. Verbrennungsprocess 587
§. 18. Bestimmung der beim Verbrennen der Körper entwickelten Wärmemenge 589
§. 19. Quellen der Wärme und das mechanische Aequivalent der Wärme 591

Eilfter Abschnitt.

Grundlehren der Astronomie 608
§. 1. Vorbegriffe zur Orientirung im Weltraume 609
§. 2. Bestimmung der Entfernung und Grösse eines Planeten . . 610
§. 3. Bestimmung der Lage eines Sternes bezüglich der Ebene des Horizontes und des Aequators 612
§. 4. Geographische Breite und Länge eines Ortes an der Erdoberfläche 614
§. 5. Scheinbare tägliche und jährliche Bewegung der Sonne . . 615
§. 6. Bewegung der Erde um die Sonne 618
§. 7. Jahr, Verschiedenheit der Dauer des Tages und der Nacht während eines Jahres und Wechsel der Jahreszeiten . . . 621
§. 8. Zeitbestimmung: wahre und mittlere Zeit, Zeitgleichung . 624
§. 9. Der Mond, Mondesphasen, Sonnen- und Mondesfinsternisse 625
§. 10. Planeten 629
§. 11. Kometen, Sternschnuppen und Feuerkugeln, Zodiakallicht . 630
§. 12. Fixsterne 632

Zwölfter Abschnitt.

Grundlehren der Meteorologie 633
§. 1. Begriff der Meteorologie 633
§. 2. Ueber die Atmosphäre und ihre Bestandtheile 634
§. 3. Ueber die klimatischen Verhältnisse 638
§. 4. Ueber den Gang der Wärme während eines Jahres . . . 646
§. 5. Die mittlere Jahreswärme bedingt das Fortkommen der Pflanzen 648
§. 6. Ueber die Winde und ihre Ursachen 649
§. 7. Ueber die verschiedenen atmosphärischen Niederschläge des Wasserdunstes und ihre Ursachen 656
§. 8. Der Barometerstand und seine Aenderungen 666
§. 9. Ueber den electrischen Zustand der Atmosphäre, Blitz, Gewitter, Hagel und Polarlicht 670

Seite
§. 10. Die Tageshelle und die Bläue des Himmels 679
§. 11. Die Dämmerung und das nächtliche Funkeln der Sterne . . 681
§. 12. Morgen- und Abendröthe 685
§. 13. Die Luftspiegelung 686
§. 14. Der Regenbogen 689
§. 15. Die Sonnen- und Mondeshöfe 698
§. 16. Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine 700

Anhang.

Physikalische Aufgaben 702
§. 1. Vom Gleichgewichte der Körper im Allgemeinen 702
§. 2. Von der Bewegung im Allgemeinen 706
§. 3. Hydrostatik und Hydrodynamik 710
§. 4. Aërostatik und Aërodynamik 712
§. 5. Akustik 714
§. 6. Magnetismus 715
§. 7. Electricität 716
§. 8. Optik 717
§. 9 Wärme 719
§. 10 Astronomie 719

Bemerkenswerthe Druckfehler.

Seite 35 in der letzten Zeile beizufügen: in der Volumeinheit.
» 124 » » 11. Zeile von unten lese: Kraft anstatt Klafter.
» 222 in Fig. 103 soll die schiefe Linie zum Niveau reichen und die Zeilen 14 bis 19 sind wegzulassen.
» 227 in der 11. Zeile v. oben: Flächeneinheit statt Gleicheneinheit
» 241 » » 6. Zeile v. oben lese: für 1 Kilogramm atmosph. Luft.
» 308 » » 19. Zeile v. unten lese: Drehungsmoment.
» 494 » » Gl. (5) setze: $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a}$
» 565 » » 15. Zeile v. oben lese: Leslie'scher Würfel.

Vorrede zur ersten Auflage.

Gediegenes, von Fachmännern verschieden bearbeitetes Material liegt in Büchern und Journalen vor dem Verfasser eines Schulbuches. Seine Aufgabe ist, durch eine übersichtliche Anordnung und kurze Fassung Licht über den Gegenstand zu verbreiten, eine verstandesgemässe Entwickelung der Sätze anzubahnen, die allgemeinen Errungenschaften, die Warten des triumphirenden Geistes — die Principien — überall wo möglich zugänglich zu machen, um dadurch grössere Partien unter einen gemeinschaftlichen Gesichtspunkt stellen und überschauen zu können, und so den Studirenden lichte Bahnen zu zeigen, auf welchen sich scheinbar vereinzelte Gesetze zu einem harmonischen Ganzen vereinigen. Viele und zwar der grössten und schwierigsten Partien lassen sich durch Anwendung der Principien leicht fasslich darstellen, während die Sätze, wenn sie vereinzelt dastehen, des geistigen Bandes entbehrend, als trockene Gedächtnissplagen der Jugend, für die Entwickelung eines logisch denkenden Verstandes unbenützt bleiben. Und doch steht logisches Denken unter allen geistigen Befähigungen obenan. Dieser Anforderung wird auch an Gymnasien Rechnung getragen. Das Studium der philosophischen Propädeutik, wie es an Gymnasien eingeführt ist, und die eben angedeutete Behandlungsweise der Lehrgegenstände unterstützen sich gegenseitig und leiten den Geist auf der Stufenleiter der Elemente des Denkens zu freien, selbstständigen Urtheilen und zu sicheren Schlüssen. Selbst da, wo in Ermangelung zugänglicher Principien die Beweisführung sich mehr auf eine experimentelle Bestätigung der Thatsachen stützen muss, wird nur zu oft eine der jugendlichen Auffassung angemessene, wohl durchdachte und so klare Darlegung vermisst, dass sie den mit einiger

Gewandtheit in der Mathematik arbeitenden Schüler so zu sagen zum mathematischen Ansatze anleiten müsste. Diese Umsetzung und Einkleidung einer Erscheinung in die Sprache der Algebra zum Behufe einer mathematischen Beweisführung muss dem jungen Manne in Folge vorausgegangener Darlegung der Thatsache der Erscheinung als eine Vereinfachung ihrer Betrachtung und als eine Unterstützung seines Verstandes zu weiteren Folgerungen erscheinen, nicht aber als eine willkürliche Beigabe, die er als unnützen Ballast zu betrachten geneigt ist. Nur nach einer leichtfasslichen, der jugendlichen Verstandesthätigkeit angemessenen Begründung wohlbekannter Thatsachen kann man mit Erfolg auch zu einigen der leichteren theoretischen Ableitungen übergehen, welche aus bekannten Ursachen oder aus gerechtfertigten Hypothesen, rückblickend auf Thatsachen der Erfahrung und den Gesetzen des logischen Denkens treu bleibend, ein allgemein giltiges Resultat zu Tage fördern, welches, in seine Theile zerlegt, die den einzelnen Vorgängen entsprechenden Gesetze liefert.

Ich lege auf die Ansicht der Nothwendigkeit einer angemesseneren Entwickelung des Denkens, als diese bisher an manchen Anstalten bei einzelnen Fächern erzielt werden konnte, desto mehr Nachdruck, als ich überzeugt bin, dass praktische Anwendung bei der Mehrzahl weit mehr leistet als das Memoriren logischer Regeln und gleichsam unbewusst zu demselben Ziele führt. Dieser Umstand muss an einer Realschule desto mehr seinem wahren Gehalte nach gewürdigt werden, als an diesen Lehranstalten ein abgesondertes Studium der philosophischen Propädeutik vermisst wird. Mathematische Beweisführung, Bekanntmachung mit Principien und einige Anfänge theoretischer Begründung sind also an Gymnasien sowohl wie an Realschulen Bedürfniss. Die vorerwähnte Behandlungsweise der Thatsachen der Erscheinung soll den Schülern der Realschulen wie der Gymnasien zur Bereicherung des Gedankenreichthums, zur Fortbildung der im innern Geistesleben aufkeimenden Ideen, so wie zu der sie leitenden Richtschnur behiflich sein. — Und so aufgefasst, von dem Lehrer belebt und durchgeführt, wird durch das Studium der Physik der heranreifenden Jugend nicht nur ein Gut an und für sich: die Erkenntniss ewiger Gesetze in dem Walten der Naturkräfte und ihrer Erscheinungen gereicht, sondern es wird

eine harmonische zur Selbstständigkeit führende Entwickelung der Geisteskräfte erstrebt.

Die oben erörterten Ansichten leiteten mich bei der Bearbeitung dieses Lehrbuches. Bei der so kurz als möglich gehaltenen Darlegung wurde überall Klarheit und Uebersicht angestrebt, ohne dabei dem aufgestellten Grundsatze, der Strenge der Beweisführung oder einzelnen wichtigen Partien Abbruch gethan zu haben. Im Ganzen bemühte ich mich den Anforderungen der gegenwärtig mit dem Wohlstande der Staaten und der Cultur der Völker so eng verknüpften Fortschritte der angewandten Physik gerecht zu werden. Es wurde daher eine passende Grundlage gewählt und die Durchführung so gehalten, dass an Hochschulen, wenn sie auf Grund des hier mitgetheilten Wissens die Kenntnisse erweitern und vervollständigen, nach dem übereinstimmenden Ausspruche der Fachkenner, Männer mit jenen Fähigkeiten ausgebildet werden können, wie sie die mächtig fortgeschrittene Cultur fordert, um den Wohlstand und die geistige Reife des Staates in dieser Sphäre würdig zu vertreten. Alles dieses im Auge behaltend hielt ich mich an die Winke des Organisations-Entwurfes, nach welchem diese vorbereitenden Unterrichts-Anstalten keinen Gegenstand zu erschöpfen, wohl aber gründliche Kenntnisse, so wie klare Uebersicht des Unterrichtsstoffes zu geben haben. Eine etwaige wünschenswerthe Erweiterung, wie die Rücksichtnahme auf die Entwickelung der Wissenschaft und auf ihre Literatur liegt dem betreffenden Lehrer ob, und kann den Schülern „der Entwickelungsgang der Physik von den ältesten Zeiten bis auf die Gegenwart" von K. Robida, Prof. zu Klagenfurt, 1854, empfohlen werden mit der Bemerkung, dass die Registerbände von Poggendorff's Annalen als Ergänzung desselben benützt werden können.

Ueberzeugt, dass jeder Unterricht erst dann wahrhaft fruchtbar wird, wenn er den Schüler zur vollsten Selbstthätigkeit bringt, überzeugt, dass das in einer mathematischen Formel oder in einem Experimente versinnlichte Naturgesetz erst dann zum klaren Bewusstsein gelangt und hierdurch ein wahres geistiges Eigenthum wird, wenn es der Schüler recht anzuwenden versteht, füge ich am Schlusse des Werkes eine Reihe physikalischer Aufgaben für die vorzüglichsten Partien bei, und erlaube mir die Ueberzeugung

auszusprechen, dass die Lösung von passenden Aufgaben nicht minder nothwendig ist als das Experiment, ja dass durch diese erst das Verständniss des Experimentes selbst gesichert wird.

Ich gebe das Werk mit dem Wunsche aus den Händen, es möge der studirenden Jugend in der beabsichtigten Weise zur Bereicherung ihres Wissens beitragen und von den Physikern als das beurtheilt werden, was es für Studirende der erwähnten Bildungs-Anstalten sein soll, nicht was es nach dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft im Allgemeinen sein könnte; auch begleite ich es mit der Bitte an Fachmänner, sie mögen mir über Partien, die nach ihrer Meinung auf eine andere Art leichter fasslich gegeben werden könnten, so wie über ihre etwa abweichenden Ansichten unverhohlen ihre werthe Meinung kund geben.

Pest, im Juli 1860.

Der Verfasser.

Vorrede zur zweiten Auflage.

Mit Befriedigung gedenke ich der freundlichen Aufnahme der ersten Auflage meiner Physik, welche ungeachtet der durch die Einführung des Principes der virtuellen Bewegung entstandenen Schwierigkeit der Durcharbeitung einer grossen Partie mit weniger talentirten Studirenden doch eine so allgemeine Verbreitung gefunden hat, dass nun neben der bereits im vorigen Jahre veranstalteten zweiten Auflage in ungarischer Uebersetzung auch eine neue deutsche Auflage nothwendig erscheint.

In dankbarer Anerkennung der hierdurch, so wie durch Mittheilungen hochgeachteter Fachmänner ausgesprochenen Würdigung meines Werkes war ich bei dieser zweiten Auflage um so mehr bemüht, die physikalischen Lehren der Fassungskraft der Schüler der Mittelschule unter Benützung der bisherigen Erfahrungen entsprechend vorzutragen, und durch Berücksichtigung der begründeten Anforderungen bezüglich der Aufnahme einer dem Gymnasium mehr Rechnung tragenden grösseren Partie der Chemie, so wie der Meteorologie, das Gebiet der in die Mittelschule eingeführten Physik allseitig zu erweitern.

War ich aus Rüchsicht für die Entwickelung der Fassungskraft der Studirenden gezwungen ein so allgemeines Princip, wie das der virtuellen Bewegung aufzulassen, so war ich doch immer bemüht, der Aufgabe des Physikers, die Naturerscheinungen auf möglichst wenige Grundvorstellungen zurückzuführen, zu entsprechen.

Durch die Umarbeitung der früher unter das Princip der virtuellen Bewegung gestellten Partie der Kräfte und die Zurückführung der betreffenden Lehren auf einfachere Begriffe, sowie durch allseitige Berücksichtigung der mir von Fachmännern

freundlichst mitgetheilten Erfahrungen, und durch die Ergänzung des Werkes durch die Aufnahme der Chemie und Meteorologie und der neueren Fortschritte, hoffe ich die billigen Wünsche meiner Fachgenossen befriedigt zu haben.

In der Erwartung, dass das Buch nun als ein abgerundetes Ganze dem Inhalte und der Darlegung nach für die Mittelschulen ganz geeignet sein werde, empfehle ich dasselbe einer unbefangenen Beurtheilung der Fachmänner, deren gefällige Mittheilungen und Rathschläge ich auch künftig dankbar entgegennehmen werde.

Graz, im Sommer 1866.

Der Verfasser

Dr. S. Šubic.

Vorrede zur dritten Auflage.

Die grosse Verbreitung, welche der zweiten Auflage zu Theil geworden ist, sowie die anerkennenden Mittheilungen von Fachmännern beweisen, dass das Buch, was Klarheit und Uebersicht der Darlegung anbelangt, den Anforderungen der oberen Klassen der Mittelschulen vollkommen entspricht. Die in der zweiten Auflage vorgenommene Zurückführung einiger schwierigeren Partien auf einfachere Begriffe hatte sich der allgemeinen Anerkennung zu erfreuen und veranlasste den von competenter Seite ausgesprochenen Wunsch, dass diese glücklich begonnene Vereinfachung der Begründung auch noch auf einige andere Partien, deren mathematische Behandlung etwas zu abstract war, ausgedehnt werden möge.

Diesen Anforderungen des Unterrichtes suchte ich in der vorliegenden Auflage um so mehr zu entsprechen, als es Aufgabe der Mittelschule ist, auch den weniger talentirten Schülern gründliche Kenntnisse der Thatsachen und klare Uebersicht des Unterrichtsstoffes beizubringen, und sie mit Hilfe des Experimentes zur vorurtheilsfreien Beobachtung und Auffassung, sowie zur Erkenntniss der Gesetzmässigkeit der Naturerscheinungen anzuleiten. Diese für die Hochschulen vorbereitenden Unterrichts-Anstalten haben den Schüler an der Hand seiner mathematischen Kenntnisse zur Begründung der einfachen Naturerscheinung und zur Erkenntniss der Gesetze anzuleiten, sie können aber jene allgemeineren theoretischen Ableitungen entbehren, welche an Hochschulen aus allgemeinen Principien die Gesetze der Erscheinungen herzuleiten haben.

Von diesem Grundsatze ausgehend habe ich abstracte mathematische Betrachtungen, wie z. B. das Princip von D'Alembert, sowie auch zu weitführende mathematische Ableitungen, wie

z. B. die Zusammensetzung der verschiedenen Schwingungen oder die Wechselwirkung elektrischer Ströme aus mathematischen Formeln beseitigt, habe aber dagegen auf das Experiment um so mehr Gewicht gelegt und diesen Ausfall reichlich ersetzt. Durch eine klare Darlegung der einzelnen Naturerscheinungen und durch Einführung neuer Experimente war es möglich, die Begründung der Erscheinungen mit einfacheren mathematischen Betrachtungen mehr auf Beobachtung und auf Kenntniss der Thatsachen zurückzuführen.

So hat denn die letzte Auflage eine wesentliche Umarbeitung erfahren und wurde in allen Partien dem Experimente mehr Aufmerksamkeit gewidmet.

Die Chemie hat in der letzten Zeit solche Umgestaltungen in der symbolischen und theoretischen Darstellung der Verbindungsweise der Elemente erfahren, dass diese Partie den neuen Anschauungen entsprechend ganz umgearbeitet werden musste. Die Berücksichtigung der grossen Fortschritte in der Akustik, in Verbindung mit der durchzuführenden Vereinfachung dieser Partie, erforderte eine vollständige Umarbeitung dieses ganzen Abschnittes, der jetzt in zwei getrennte Partien zerfällt, nämlich in die Wellenbewegung und in die Lehre vom Schalle.

Da ich überall die Fortschritte der Physik, insoweit sie das Gebiet der Mittelschule berühren und thatsächlich zur Förderung ihrer Ziele gereichen, berücksichtigt und die angeführten Erleichterungen eingeführt habe, so gebe ich dieses Buch mit der vollen Ueberzeugung aus den Händen, dass es durch seine Methode sowohl als durch seinen Umfang den Bedürfnissen der Mittelschulen entsprechen wird.

Ich empfehle das Buch einem unbefangenen Urtheile der Fachcollegen und erwarte wie bisher ihre gefälligen Mittheilungen über die beim Unterrichte nach demselben sich ergebenden Resultate und um ihre bezüglichen Rathschläge.

Graz, im Sommer 1872.

S. Šubic.

Erster Abschnitt.

Einleitung.

§. 1. **Eintheilung unserer Kenntnisse über die Natur; Begriff der Physik.** Die Naturkenntniss kommt uns lediglich durch die Sinne zu. Ueberall, wo wir Veränderungen gewahren, setzen wir **Materie** voraus. Die im Raume begrenzte Materie nennen wir einen physischen Körper. Den Inbegriff aller unserer Kenntnisse über die Sinnnenwelt oder Natur nennt man im Allgemeinen Naturkunde. Beschäftigt sich die Naturkunde mit der Erforschung derjenigen Eigenschaften, mit welchen die Naturprodukte in ihrem ursprünglichen Zustande begabt auftreten, so wird sie Naturgeschichte genannt; untersucht sie aber die Veränderungen, die in den Zuständen der Körper durch irgend welche Einwirkungen hervorgebracht werden, um die Gesetze der Erscheinungen und ihre Ursachen aufzufinden, so heisst sie Naturlehre. Die Gesetze bestimmen, die Ursachen erklären eine Naturerscheinung. Physik im weiteren Sinne heisst derjenige Theil der Naturlehre, welcher die Erscheinungen der unorganischen Natur bestimmt und erklärt; Physiologie hingegen jener Theil, der es mit der Untersuchung der Erscheinungen der organischen Natur zu thun hat.

Zur Erforschung der Veränderungen, die in den Zuständen der Körper vor sich gehen, hat man Mittel erfunden, die Erscheinungen willkürlich hervorzurufen. Das Hervorrufen einer Erscheinung, um sie zu untersuchen, nennt man Versuch oder Experiment, und die Vorrichtung, die dazu dient, einen physikalischen Apparat. Hat man die bleibende Regel der Entwickelung einer Erscheinung gefunden, so kennt man das Naturgesetz derselben. Kann durch eine Erscheinung A eine zweite B hervorgebracht

werden, so ist A die Ursache von B; man ist aber nicht im Stande von jeder Erscheinung eine sinnenfällige Ursache nachzuweisen, und nennt jede mit den Sinnen nicht mehr wahrnehmbare Ursache einer Erscheinung eine Naturkraft. So erscheint die Materie der Körper als Trägerin der unter den Namen Schwerkraft und Molecularkraft bekannten Naturkräfte. Da wir über das Wesen vieler Naturkräfte gegenwärtig nur Vermuthungen oder Hypothesen aufstellen können, so fällt die Erklärung vieler Erscheinungen hypothetisch aus und man sucht vorerst darnach die Naturerscheinungen auf möglichst wenige Grundvorstellungen zurückzuführen; daher man die Auffindung des Gesetzes, welches eine Naturkraft in ihrer Wirksamkeit befolgt, als das eigentliche Ziel der exacten Physik, insoweit sie in den Schulen vorgetragen wird, ansieht.

Eine Naturkraft vermag eine Wirkung und Naturerscheinung nur zufolge einer ihr innewohnenden Arbeitsfähigkeit oder Triebkraft hervorzubringen. Da aber jede Arbeitsfähigkeit oder Triebkraft nur aus der Bewegung der Körper oder aus der Bewegung ihrer kleinsten Theilchen hervorgehen kann, da es ohne Bewegung keine Triebkraft gibt, so sind alle Naturkräfte Bewegungskräfte, und das Ziel der Physik besteht darin, die den Veränderungen oder Naturerscheinungen zu Grunde liegenden Bewegungen und deren Triebkräfte zu finden. Je mehr aber die Physik die Kräfte der verschiedensten Naturerscheinungen auf Triebkräfte zurückführt und sie somit alle nach gleichem Maasse, nämlich dem Maasse der mechanischen Kräfte misst, desto mehr verwandelt sich die Lehre der verschiedensten physikalischen Erscheinungen in eine Mechanik.

Das Gebiet der Physik im weiteren Sinne hat aber heutzutage schon eine solche Ausdehnung erreicht, dass man es in zwei Theile sondern muss, in die Chemie und in die Physik im engeren Sinne des Wortes. Chemie ist die Wissenschaft, welche materielle Veränderungen, bei denen ein Wechsel in den charakteristischen Eigenschaften der Körper stattfindet, untersucht; Physik im engeren Sinne ist jene Wissenschaft, welche die Bestimmung und Erklärung der räumlichen oder mechanischen Veränderungen der unorganischen Natur zum Gegenstande hat.

A. Allgemeine Eigenschaften der Körper.

§. 2. Eigenschaften, welche allen physischen Körpern ohne Ausnahme zukommen, nennt man allgemeine Eigenschaften. Zu diesen gehören: 1. Ausdehnung, 2. Undurchdringlichkeit, 3. Beharrungsvermögen, 4. Theilbarkeit, 5. Porosität, 6. Zusammendrückbarkeit und Ausdehnbarkeit, 7. Schwere, 8. Wärme.

1. Ausdehnung. Ein jeder Körper nimmt einen begrenzten Raum ein und hat daher eine gewisse Gestalt oder Figur, in deren Raum sich seine Materie nach drei auf einander senkrechten Richtungen in die Länge, Breite und Höhe ausdehnt. Man sagt daher, ein jeder Körper hat eine dreifache Ausdehnung: in die Länge, Breite und Höhe.

Man hat daher an einem Körper dreierlei Raumgrössen zu unterscheiden: lineare oder Längen-, Flächen- und Raum-Ausdehnungen. Die Grösse des Raumes, den ein Körper einnimmt, nennt man Raum- oder Kubikinhalt, auch Volumen.

Bei sehr vielen Untersuchungen muss man die Dimensionen bestimmen, d. h. sie ausmessen können. Um die Messung irgend einer Dimension des Körpers vorzunehmen, bedarf man eines unveränderlichen, gleichartigen Maasses. Längen können nur durch Längen, Flächen durch Flächen, und Kubikinhalt nur durch Kubikinhalt gemessen werden; daher hat man drei Maasseinheiten: die Längeneinheit, ihr Quadrat und ihren Kubus. Die Längeneinheit ist demnach die Grundlage jeder Messung einer Raumgrösse; deshalb wollen wir die Längenmessung vor Allem kennen lernen.

a) Längenmessung. Zur Messung grosser Längen braucht man grosse, zur Messung kleiner Längen kleine Längeneinheiten, um das Maass in einfacheren Zahlen zu erhalten. Die verschiedenen Längeneinheiten müssen jedoch zu der als Grundlage dienenden Einheit in einem bestimmten Verhältnisse stehen, wie z. B. Fuss, Zoll und Linien zur Klafter. Mit einem gewöhnlichen Maasstabe können aber Längen nur bis auf solche Stücke genau gemessen werden, die nicht kleiner sind als seine kleinsten Unterabtheilungen.

Nonius. Um aber auch kleinere Längen mit der grössten Genauigkeit abzumessen, versieht man den Maasstab mit einem Nonius, d. h. mit einem Nebenmaassstabe, der am Hauptmaassstabe verschiebbar angebracht ist. Will man noch den $n$ten Theil von der kleinsten Unterabtheilung a in der Länge genau messen, so gibt man dem Nonius die Länge von $(n+1)\,a$ oder $(n-1)\,a$ und theilt ihn in n gleiche Theile. Im ersten Falle ist eine Abtheilung des Nonius gleich

Fig. 1.

$$(n+1)\,a : n = a + \frac{a}{n},$$

also um $\frac{a}{n}$ grösser als die des Hauptmaassstabes, im zweiten Falle aber

$$(n-1)\,a : n = a - \frac{a}{n},$$

folglich um $\frac{a}{n}$ kleiner als die Unterabtheilung des Hauptmaassstabes; daher kann man in beiden Fällen noch $\frac{a}{n}$ messen, wie dies für den ersten Fall aus der Fig. 1. ersichtlich wird. MN ist der Hauptmaassstab, CD der Nonius, AB die zu messende Länge, deren Ende A zwischen zwei Theilstriche des Hauptmaassstabes fällt. Bringt man das Ende des Nonius mit dem letzten Theilstriche m des Hauptmaassstabes in dieselbe Linie, so liegt der mit 1, 2, 3, ... 10 bezeichnete Theilstrich des Nonius der Reihe nach um $\frac{a}{10}, 2\frac{a}{10}, 3\frac{a}{10}, \ldots 10\frac{a}{10}$ unter dem Theilstriche des Hauptmaassstabes. Nun rückt man den Nonius so, dass der Endpunkt A in der Verlängerung seiner Erdfläche liegt, und liest die Zahl am Nonius ab, bei welcher der Theilstrich des Nonius und des Hauptmaassstabes in derselben Linie liegen; findet dies z. B. bei 6 statt, so hat man den Nonius um $6\frac{a}{10}$ über m hinaus verschoben, folglich ist $Am = 6\frac{a}{10}$ etc. — Dasselbe gilt für den zweiten Fall bei der

Unterabtheilung $a - \frac{a}{n}$, nur beginnt die Scala unten mit Null, weil dann jede Unterabtheilung um $\frac{a}{n}$ kleiner ist als am Hauptmaassstabe, und der erste Theilstrich von unten bei einer Verschiebung um $\frac{a}{n}$ nach oben coincidirt.

Fig. 2.



Hat man ein Instrument zur Messung der Winkel, so ist der Nonius MN (Fig. 2) am Ende eines beweglichen Halbmessers, Alhidade genannt, angebracht und schliesst sich genau an den Kreisbogen AB (Limbus) des Instrumentes an; ist $a = 6$ Minuten und man will noch $\frac{1'}{2}$, d. i. $\frac{a}{12}$ ablesen, so theilt man die Noniuslänge von $(12 \pm 1)\,a$ in 12 Theile, und hat $a \pm \frac{a}{12}$, wo $\frac{a}{12} = \frac{1'}{2}$ der kleinste Abstand zwischen einem Theilstriche des Nonius und des Hauptmaassstabes ist, und gemessen werden kann, wie dies beim geraden Nonius angegeben wurde.

Soll die Messung genau ausfallen, so dürfen die Maassstäbe an den Enden nicht abgenützt, auch nicht verbogen werden, und die durch Einflüsse der Temperatur verursachte Längenänderung muss in Rechnung gebracht werden, wie dies in der Wärmelehre gezeigt wird. Jeder Maassstab hat seine rechte Länge bei der sogenannten Normaltemperatur, die am Maassstabe bezeichnet werden soll.

Meter. Zu physikalischen Untersuchungen bedient man sich meist des neufranzösischen Maasses, dessen Einheit Meter heisst und näherungsweise den zehnmillionsten Theil des nördlichen Meridianquadranten beträgt. 1 Meter ist = 3·163532 Wiener Fuss oder = 3 Fuss 1 Zoll 11·549 Linien. Durch Divi-

sion des Meters mit 10, 100, 1000 erhält man Decimeter, Centimeter und Millimeter; durch Multiplication mit 10, 100, 1000 und 10,000 hingegen Decameter, Hectometer, Kilometer und Myriameter.

Die Grundlage des englischen Maasses ist der Yard (= $\frac{1}{2}$ Faden), dessen dritter Theil einen englischen Fuss bildet, der auch in 12 Zoll getheilt wird. Ein englischer Fuss ist gleich 0·9642 Wiener Fuss.

Aichmaass. Ein gesetzliches Maass, nach welchem die Richtigkeit anderer Maasse festgestellt wird, heisst Aichmaass (étalon), aichen heisst dem Maasse die gesetzmässige Grösse geben.

b) Flächenmessung. Die Einheit des Flächenmaasses bildet im Metermaass ein Quadrat, dessen Seite ein Decameter ist, und heisst Are, es beträgt 100 Quadratmeter oder 27·7998 Wiener Quadratklafter.

$\frac{1}{10}$	Are heisst	Deciare	=	10 □ Meter
$\frac{1}{100}$	„ „	Centiare	=	1 □ M.
$\frac{1}{1000}$	„ „	Milliare	=	0·1 □ M.
. . . .	. . . .	. . . .	. .	. . . .
10	Are heissen	Decare	=	1000 □ M.
100	„ „	Hectare	=	10,000 □ M.
1000	„ „	Kiliare	=	100,000 □ M.
10,000	„ „	Myriare	=	1,000,000 □ M.

Im Wiener Maass sind Quadratzoll, Quadratschuh, Quadratklafter als Flächenmaasse gebräuchlich. Als Feldmaass nimmt man eine Fläche von 1600 Quadratklafter und nennt es Joch. Eine Quadratmeile zählt 10,000 Joch.

c) Rauminhalt. Ein Würfel, dessen Seite ein Decimeter lang ist, bildet im Metermaasse die Einheit des Kubikmaasses und heisst Liter (also der tausendste Theil eines Kubikmeters) = 54·7046 Wiener Kubikzoll. — Im Wiener Maass bilden Kubikzoll, Kubikfuss, Kubikklafter die gewöhnlichen Raummaasse. — 1 Wiener Eimer = 58·015 Liter.

Calibriren. Ein Gefäss in gleiche Volumtheile theilen, heisst dasselbe calibriren. Dieses geschieht, indem man nach und nach gleiche Mengen einer Flüssigkeit in das Gefäss giesst und den Stand an der Seitenwand bezeichnet, oder dadurch, dass

man eine gleiche Menge Flüssigkeit, z. B. einen Quecksilberfaden in einem Röhrchen fortschiebt und die Grenzen desselben bezeichnet.

Volumen. Das Volumen eines Körpers lässt sich bei regelmässig gestalteten Körpern nach den Regeln der Geometrie berechnen; bei unregelmässigen aber aus seinem absoluten und specifischen Gewichte. Denn ist P sein absolutes, S das Gewicht einer Volumseinheit und V das Volumen, so ist

$$P = VS,$$

folglich das Volumen

$$V = \frac{P}{S}.$$

Hat man das Volumen eines hohlen Gefässes zu finden, so ist es am bequemsten es mit Quecksilber oder Wasser vollzufüllen, das Gewicht des Quecksilbers oder Wassers zu bestimmen und es durch das Gewicht eines Kubikzolles Quecksilbers oder Wassers zu dividiren, wo der Quotient das Volumen in Kubikzollen angibt. 1 Kubikzoll Wasser wiegt bei 0° C. 250·6 Gran. 1 Kubikzoll Quecksilber aber 13·6mal mehr. 1 Kubikfuss Wasser 56·4 Pfund. — 1 Kubikcentimeter destillirtes Wasser bei 4° C. wiegt 1 Gramm, 1 Kubikcentimeter Quecksilber 13·6mal mehr. — Zur Bestimmung des Volums flüssiger Körper hat man Volumeter, d. i. Röhren, die in gleiche Volumtheile getheilt sind.

Zur Vergleichung und Verwandlung der verschiedenen Maasse bestehen der Bequemlichkeit helber eigene Tabellen zum Nachschlagen.

2. Undurchdringlichkeit. In dem Raume, welchen die Materie eines Körpers ausfüllt, kann nicht zu gleicher Zeit die Materie eines andern Körpers enthalten sein. Diese Eigenschaft der Körper nennt man Undurchdringlichkeit. Will man daher einen Körper in den Raum, wo ein anderer vorhanden ist, bringen, so muss man früher den ersten Körper aus dem Raume wegschaffen, wie dies bei Metallgüssen geschieht, wo die Luft durch die sogenannten Windpfeifen entweicht. — Auf der Undurchdringlichkeit der Luft beruht z. B. die Taucherglocke.

3. Beharrungsvermögen. Sowohl ein ruhender als auch ein bewegter Körper zeigt überall das Bestreben, seinen Zustand der Ruhe oder der Bewegung beizubehalten, denn ein ruhender

Körper kann sich nicht selbst in Bewegung versetzen, ein bewegter kann von selbst weder die Geschwindigkeit, noch die Richtung der Bewegung ändern. Diese Eigenschaft nennt man das Beharrungsvermögen. — Der Widerstand der äusseren Hindernisse ist Ursache, dass unter gewöhnlichen Umständen bewegte Körper zur Ruhe gelangen. Wo man also Veränderungen oder Erscheinungen an den Körpern wahrnimmt, schliesst man mit Sicherheit auf das Vorhandensein einer besonderen Ursache.

Diese allgemeine Eigenschaft der Körper, ihren Zustand der Ruhe oder Bewegung von sich selbst nicht abändern zu können, pflegt man auch Trägheit zu nennen. — Jede Ursache, welche diesen Zustand zu ändern vermag, nennt man Kraft.

4. Theilbarkeit. Jeder Körper lässt sich durch Anwendung äusserer Gewalt, z. B. durch Stossen, Reiben, Mahlen etc., in kleinere gleichartige Theile zerlegen. Diese Eigenschaft nennt man Theilbarkeit. Wir kennen keine Grenze der Theilbarkeit, denn nur die Unvollkommenheit unserer Sinne und Werkzeuge setzt ihr eine Grenze. Die gleichartigen Theilchen eines Körpers, die man durch diese mechanische Theilung erhält, heissen Aggregattheilchen und der Körper selbst ein Aggregat.

Die kleinsten mit den Sinnen nicht mehr wahrnehmbaren Aggregattheilchen eines Körpers nennt man Molecüle. Die Molecüle sind mechanisch untheilbar, aber chemisch noch theilbar, und bestehen aus chemisch untheilbaren Atomen. Die Molecüle der Grundstoffe bestehen aus gleichartigen, die der Verbindungen aber aus ungleichartigen Atomen.

Beispiele sehr grosser Theilbarkeit bieten uns die riechenden Stoffe uud die Farben dar.

5. Porosität. Der Raum, den ein Körper einnimmt, wird von der Materie nicht vollkommen ausgefüllt, sondern es sind Zwischenräume oder Poren zwischen den materiellen Theilchen des Körpers vorhanden. In den Poren kann aber eine andere Materie, z. B. Luft, Wasser etc. enthalten sein.

Die Eigenschaft der Körper, Poren zu haben, nennt man Porosität. An mehreren Körpern lassen sich die Poren schon mit dem freien Auge wahrnehmen, an andern durch Microscope und Durchpressung des Quecksilbers, z. B. mit der Quecksilber-

presse, durch Aufsaugung flüssiger Körper etc. — Die Porosität der thierischen Haut erleichtert das Gerben, indem die Gerbestoffe in die Poren eindringen, eine innige Verbindung eingehen, so dass die Haut in Leder verwandelt wird.

6. Zusammendrückbarkeit und Ausdehnbarkeit. Die Möglichkeit, den Rauminhalt eines Körpers ohne Verlust seiner Materie durch Druck oder Abkühlung zu verkleinern, nennt man Zusammendrückbarkeit; die Möglichkeit, den Rauminhalt durch Dehnung oder Erwärmung zu vergrössern, nennt man Ausdehnbarkeit. — Weil alle Körper zusammendrückbar sind, so füllt die Materie selbst bei den dichtesten den Raum nicht vollständig aus, und sind alle porös.

Auf der Zusammendrückbarkeit beruht das Prägen der Münzen, das Pressen des Leders etc.

Der Versuch mit der Kugel und dem Ringe gibt ein Beispiel hierzu.

7. Schwere. Die Körper zeigen, wie man es an einem Bleiloth sieht, an allen Orten der Erde jederzeit das Bestreben, in der verticalen Richtung zur Erde zu fallen. Dieses Bestreben der Körper nennt man Schwere. Die Ursache der Schwere ist die Anziehungskraft der Erde, die man Schwerkraft nennt. Die Schwere äussert sich durch wirkliches Fallen, sobald sich der Körper selbst überlassen ist; durch einen Druck, wenn ihn eine Unterlage zu fallen hindert.

Die Erfahrung, dass sämmtliche Körper an demselben Orte im luftleeren Raume von derselben Höhe gleichzeitig zu Boden fallen, zeigt uns, dass alle Körper, sie mögen gross oder klein und von welcher materiellen Beschaffenheit immer sein, ein gleich starkes Bestreben haben, zur Erde zu fallen; daher man sagt, die Körper sind gleich schwer.

Diese Benennung „schwer“ ist wohl zu unterscheiden von der im Leben gebräuchlichen Bezeichnung für das Gewicht des Körpers, wo man zu sagen pflegt, ein Körper ist schwerer als der andere, anstatt: er hat mehr Gewicht als der andere.

a) Gewicht. Nimmt man 2, 3, 4...n gleiche Körpertheile, so wird jeder gleich stark zur Erde gezogen, jeder übt auf die Wagschale einen gleichen Druck aus. Vereinigt man nun aber alle diese n Körpertheile, jedes von der Masse m, zu einem einzigen Körper von der Masse M, so zeigt die Wage, dass der Körper von der Masse M einen $n$mal stärkeren Druck ausübt als jede der

Massen m, d. h. das Gewicht wächst mit der Masse in einem geraden Verhältnisse.

Absolutes Gewicht. Das Gewicht eines Körpers ohne Rücksicht auf sein Volumen nennt man das absolute Gewicht. Bezeichnet man mit P und p die absoluten Gewichte zweier Körper von den Massen M und m, so hat man also das Verhältniss

$$P:p = M:m.$$

Die Masse eines Körpers ist also proportional seinem absoluten Gewichte.

Gewichtseinheit. Die Bestimmung des Gewichtes erfordert eine Gewichtseinheit. In Oesterreich ist sie ein Wiener Pfund, im neufranzösischen Gewichtssysteme wird das Gewicht eines Kubikcentimeters destillirten Wassers im Zustande der grössten Dichte bei der Temperatur von 4° C. als Einheit genommen und wird Gramm genannt. 1 Gramm = 13·714 Wiener Grane, wo 240 Gran = 1 Loth sind; 1 Wiener Pfund = 560·016 Gramm; 1 Loth = 17·5 Gramm; 1 Kilogramm = 1·786 Wiener Pfund.

Die von den Franzosen angenommene Gewichtseinheit, das Gramm, wird auch den Berechnungen in den meisten wissenschaftlichen Werken zu Grunde gelegt, daher ist eine sehr deutliche Vorstellung darüber nothwendig. Es ist

1 Kubikcentimeter = $(\frac{1}{100})^3$ Meter = $\frac{1}{1,000.000}$ Kubikmeter,

und

1 Kubikdecimeter = 1000 Kubikcentimeter = 1 Liter = $(\frac{1}{10})^3$ Meter; daher beträgt ein Gramm den millionsten Theil des Gewichtes von 1 Kubikmeter Wasser, und daher wiegt ein Liter reinen Wassers im Zustande der grössten Dichte gerade 1000 Gramm, d. i. ein Kilogramm; — ein Kubikmeter aber 1000 Kilogramm.

Specifisches Gewicht. Unter specifischem Gewicht versteht man also das Gewicht der Volumseinheit.

Nimmt man bei der Gewichtsbestimmung irgend ein Volumen als Einheit an, z. B. 1 Kubikzoll, und bestimmt die Gewichte verschiedener Körper, die sie bei dieser Volumseinheit haben, so nennt man sie specifische Gewichte, z. B. 1 Kubikzoll reines Wasser wiegt nahe 1·04 Loth, 1 Kubikfuss aber 56·4 Pfund.

Drückt man das Volum in Kubikzollen aus, so nimmt man die erstere Zahl als specifisches Gewicht; drückt man es aber in Kubikfuss aus, so nimmt man dafür die letztere.

Ist S das specifische Gewicht eines Körpers und V das durch die angenommene Volumseinheit gemessene Volumen, so ist sein absolutes Gewicht

$$P = VS.$$

b) Dichte. Hat ein Körper ein $n$mal grösseres specifisches Gewicht S als ein anderer, so muss er, nach dem was wir vom Gewichte und der Masse bemerkt haben, bei demselben Volumen $n$mal mehr Masse M haben als der andere von der Masse m; aber eine $n$mal grössere Masse in demselben Volumen V setzt eine $n$mal grössere Dichte D voraus; folglich ist, wenn d die Dichte der Masse m bezeichnet,

$$M : m = D : d;$$

aber es ist

$$P = VS$$

und für einen andern Körper von gleichem Volumen

$$p = Vs,$$

folglich auch

$$P : p = S : s,$$

zugleich aber verhalten sich die Gewichte wie die Massen

$$P : p = M : m,$$

mithin ist

$$P : p = S : s = D : d \ldots (1).$$

Man nimmt gewöhnlich die Dichte des reinen Wassers bei 4° C. als Einheit der Dichten, also $d = 1$, an und hat die Dichte eines andern Körpers D

$$D = \frac{P}{p} \ldots (2),$$

d. h. man findet die Dichte eines Körpers bezüglich jener des reinen Wassers bei 4° C., wenn man das Gewicht des Körpers durch das Gewicht einer Wassermasse von gleichem Volumen dividirt.

Die Dichte ist das sicherste Unterscheidungsmittel für Mineralien etc., für den Gehalt der Lösungen an werthhabenden Stoffen; daher erscheint sie oft auch als das einzige Mittel für die Beurtheilung des Werthes der im Verkehr vorkommenden festen und flüssigen Körper.

Ferner folgt aus *(1)* für $d = 1$ die Gleichung

$$S = Ds \ldots (3),$$

d. h. man findet das specifische Gewicht eines Körpers, wenn man seine Dichte mit dem specifischen Gewichte des Wassers multiplicirt.

8. Wärme. Sämmtliche Körper, mit denen wir in Berührung kommen, zeigen einen eigenthümlichen Zustand, durch den sie in uns die Empfindung der Wärme und Kälte hervorrufen. Die Erfahrung lehrt uns, dass derselbe Zustand je nach den äusseren Umständen bald den Eindruck der Wärme, bald den der Kälte veranlasst, woraus wir schliessen, dass der Wärme und Kälte nichts wesentlich Verschiedenes als Ursache zu Grunde liegt. — Der Wärmezustand der Körper ist verschiedener Abstufungen hinsichtlich der äussern Wirkung fähig, diese Abstufungen nennt man Grade der Wärme oder Temperatur. Die Erfahrung lehrt, dass die Temperatur eines Körpers in der Nähe wärmerer Körper steigt, in der Nähe kälterer aber sinkt, und dass überhaupt ein Bestreben der Wärme vorhanden ist, die Temperatur zwischen den Körpern auszugleichen oder in das Gleichgewicht zu stellen. Den Vorgang der Herstellung des Gleichgewichtes der Temperatur nennt man die Mittheilung der Wärme. Derselbe Vorgang findet auch im Innern eines Körpers statt, dort bezeichnet man ihn mit dem Namen Wärmeleitung.

a) Da die Bestimmung des Grades der Wärme oder der Temperatur bei sehr vielen wissenschaftlichen Untersuchungen der Erscheinungen nothwendig ist, so wollen wir schon hier das Instrument kennen lernen, welches zum Messen der Temperatur dient.

Das Thermometer. Die Einrichtung des Thermometers beruht bekanntlich auf der proportional mit der Temperatur vor sich gehenden Volumänderung einiger Körper. Der Körper, an dessen gleichförmiger Volumänderung man die Temperatur erkennen will, wird thermometrische Substanz genannt. Die thermometrische Substanz muss, mit dem Körper von unbekannter

Temperatur in Berührung gebracht, dessen Temperatur schnell annehmen und sich selbst bemerkbar ausdehnen, ohne dem zu untersuchenden Körper so viel Wärme zu entziehen, dass er merklich abgekühlt würde. Daher können nur gewisse Körper als thermometrische Substanzen verwendet werden. Am häufigsten wird *Quecksilber* als solche gewählt. Zur Bestimmung sehr niedriger Temperaturen mehr als 20° R. unter Null, wo das Quecksilber sich nicht mehr gleichförmig zusammenzieht und bei 32° Réaumur gefriert, wendet man aber *Weingeist* an, der bisher noch nicht zum Gefrieren gebracht wurde.

Das *Quecksilber-Thermometer* (Fig. 3) besteht aus einer engen, überall gleich weiten oder wohl calibrirten Glasröhre, an deren unterem Ende eine Kugel angeblasen ist. Bei der Anfertigung bringt man reines Quecksilber hinein, macht die Röhre über demselben luftleer und lässt dann die gefüllte Röhre wochenlang liegen, weil zufolge der Erfahrung das Glas noch sehr lange nach der Erhitzung sein Volumen ändert.

Fig. 3.

Um dem Thermometer eine Scala zu geben, an der man nach dem Stande des Quecksilbers in der Röhre die Temperatur desselben erkennen soll, bestimmt man den Quecksilberstand für die fixen Temperaturen des schmelzenden Eises und des bei dem Normalluftdrucke, d. i. bei einem Barometerstand von 760 Millimeter (28 Zoll), siedenden Wassers. Den Abstand dieser zwei Punkte nennt man *Fundamentalabstand*; man theilt ihn nach *Réaumur* in 80, nach *Celsius* in 100 und nach *Fahrenheit* in 180 *gleiche* Theile ein, die man *Thermometergrade* nennt. Diese Eintheilung nennt man *Thermometerscala*.

Um die Temperaturangabe nach der einen Scala in die entsprechende Angabe einer andern Scala zu verwandeln, hat man sich nur zu erinnern, dass ein und derselbe *Temperaturabstand* gleich ist 80° R. = 100° C. = 180° F., also auch 4° R. = 5° C. = 9° F., oddr 1° R. = $^5/_4$° C. = $^9/_4$° F. etc. — Bemerkt muss

noch werden, dass an der Scala nach Réaumur und Celsius der Eispunkt mit Null, an jener nach Fahrenheit aber mit 32⁰ bezeichnet ist, weshalb von der abgelesenen Angabe des letzteren vor der Verwandlung die Zahl 32 abzuziehen ist. Bei Verwandlungen der Réaumur- und Celsius-Grade in Fahrenheit muss man umgekehrt zu der erhaltenen Zahl noch 32⁰ hinzu addiren.

Die Construction eines zu wissenschaftlichen Untersuchungen bestimmten Thermometers fordert specielle und genaue Kenntniss aller Einflüsse auf die Bestimmung des Fundamentalabstandes. — Man fordert von einem guten Thermometer, dass es nicht nur richtig, sondern auch empfindlich sei. Richtig ist es, wenn der Fundamentalabstand genau bestimmt und die Thermometerscala richtig aufgetragen ist, so dass die Angaben der Thermometer genau übereinstimmen; empfindlich ist es, wenn es schnell eine geringe Temperaturänderung erkennen lässt. Daher müssen die Wände der Kugel möglichst dünn, ihr Inhalt klein und die Länge eines Grades gross sein.

Fig. 4.

b) Zur Bestimmung der höchsten und der niedrigsten Temperatur, die während eines gewissen Zeitraumes stattgefunden hat, dient das sogenannte Maximum- und Minimum-Thermometer. Nach Rutherford befestigt man auf einem Brette in horizontaler Lage ein Quecksilber- und ein Weingeist-Thermometer, wie Fig. 4 zeigt. Vor der Quecksibersäule befindet sich in der oberen Röhre ein Stiftchen von Stahl oder Fischbein, das beim Steigen der Temperatur vorwärts geschoben wird und dort, z. B. bei *m*, liegen bleibt, wo das Quecksilber den höchsten Stand erreicht hat; dieses zeigt somit das Maximum an. In der Röhre des unteren Minimum-Thermometers ist ein Stiftchen von Glas ganz in Weingeizt eingetaucht, und wird vermöge der Adhäsion zum Weingeiste beim Zusammenziehen desselben zurückgezogen, bleibt aber beim Vorwärtsschreiten desselben liegen und zeigt den tiefsten Stand *n* an, den der Weingeist erreicht hat. — Um beide

Stiftchen wieder mit den Oberflächen in Berührung zu bringen, neigt man das Gestelle, während man die rechte Seite etwas hebt und die linke entsprechend senkt, und klopft ein wenig an das Brettchen. Bringt man dann das Instrument in der Stellung, dass die Thermometer eine horizontale Lage haben, in den Raum, dessen Temperatur untersucht werden soll, so geben die den Flüssigkeitsoberflächen zugekehrten Enden der verschobenen Stifte die Temperaturen an, und zwar das Stahlstiftende die höchste, das Glasstiftende aber die niedrigste Temperatur während der Beobachtungszeit.

c) Man hat auch Metallthermometer, die wir in der Wärmelehre werden kennen lernen; dann sogenannte Pyrometer zur Bestimmung hoher Hitzegrade, z. B. das Luftpyrometer von Pouillet, dessen in der Aërostatik näher erwähnt wird, und Pyrometer von Daniell, Makaire, Prinsep, die auf der bekannten Schmelztemperatur gewisser Metalllegirungen beruhen; ferner Luftthermometer, die als Normalthermometer dienen und in der Aërostatik abgehandelt werden etc.

B. Wirkungen der Molecularkräfte.

§. 3. Aggregationsformen der Körper. Die Verbindungsweise der materiellen Theile eines Körpers unter einander nennt man seine Aggregationsform; sie ist im Allgemeinen sehr verschieden und richtet sich nach der Wirkung der zwischen den materiellen Theilchen thätigen Molecularkräfte. Man unterscheidet im Allgemeinen zwei Hauptformen der Aggregation: die feste und die flüssige. Die Körper sind nämlich entweder fest oder flüssig. Feste Körper nennt man jene, welche einer Verschiebung ihrer Theile einen merklichen Widerstand entgegensetzen; flüssige hingegen jene, deren Theile keinen merklichen Widerstand der Trennung entgegensetzen.

Die Versuche mit den Körpern aller Aggregationsformen lassen zweierlei Molecularkräfte erkennen: 1. anziehende, 2. abstossende. Erstere geben sich kund bei Versuchen, die Theilchen von einander zu trennen, letztere bei Versuchen, die Theilchen des Körpers einander näher zu rücken, als sie im natürlichen Zustande sich befinden.

Ueber den Zustand der Materie selbst bestehen zwei wesentlich verschiedene Hypothesen, die dynamische und die atomistische. Die Anhänger der dynamischen Hypothese behaupten, die Materie fülle den Raum eines Körpers continuirlich und gleichmässig aus, und besitze zwei einander entgegengesetzte

Kräfte, eine anziehende und eine abstossende Kraft. Die abstossende Kraft der Materie sehen die Anhänger der dynamischen Hypothese als Ursache der Undurchdringlichkeit an.

Die Anhänger der atomistischen Hypothese hingegen nehmen an, die Materie bestehe aus Atomen oder sehr kleinen Körperchen, deren Grösse und Theilbarkeit darum nicht in Betracht kommt. Die Atome berühren sich nicht, sondern sind durch Zwischenräume von einander getrennt, welche man viel grösser als ihre Durchmesser annehmen muss.

Die Eigenschaft der Undurchdringlichkeit kommt nach dieser Anschauung nur den Atomen zu, und die Körper können sich gegenseitig durchdringen, indem die Atome des einen sich in die Zwischenräume der Atome des anderen lagern. Die Atome werden durch die allen Körpern eigene Anziehungskraft zusammengehalten. An der Berührung aber werden sie verhindert durch eine dem Widerstand einer zusammengerollten Feder ähnliche Kraft, die Abstossungskraft. Diese ist aber wahrscheinlich nicht den Atomen selbst eigen, sondern entspringt aus der Elasticität eines die Atome umgebenden elastischen Mediums.

Zur Einfachheit und behufs der Lichtphänomene nimmt man an, die Atome seien umgeben vom Aether, einer den Weltraum erfüllenden, höchst elastischen und feinen Materie. Jedes Atom denkt man sich in Aether eingehüllt und den Aether durch Anziehung um dasselbe verdichtet, wie die Luft um unsere Erde. Nähern sich zwei Atome in Folge eines Druckes, so leisten die Aetherhüllen einen Widerstand, indem die Aethertheilchen auf Aethertheilchen eine abstossende Kraft ausüben.

Diese atomistische Hypothese hat viele Wahrscheinlichkeit und findet ihre grösste Stütze in der Undulationstheorie, nach welcher transversale Schwingungen und demnach Polarisation des Lichtes nur in einem aus discontinuirlichen Theilchen bestehenden Medium stattfinden kann.

Beide Hypothesen leiden aber an dem Mangel der Einheit, welche der Natur eigenthümlich ist; denn beide müssen zu der Anziehungskraft der Materie noch eine Abstossungskraft zur Aushilfe nehmen.

§. 4. **Arten flüssiger Körper.** Flüssige Körper zerfallen in zwei Arten, in tropfbar flüssige und in ausdehnsam flüs-

sige. Tropfbar flüssige Körper bilden in kleinen Mengen Tropfen und lassen sich selbst durch sehr grosse Druckkräfte nur wenig zusammendrücken, so dass man sie gewöhnlich als unzusammendrückbar betrachten kann. Während die festen Körper eine selbstständige Gestalt haben, nehmen flüssige bei grösserer Masse stets die Gestalt der Gefässe an, in welchen sie aufbewahrt werden. Bei festen Körpern werden die gleichartigen Theile durch eine bedeutende Molecularkraft an einander gehalten, die man Cohäsionskraft nennt; bei tropfbaren ist die Cohäsion sehr schwach, so dass nur noch kleine Massen unter geeigneten Umständen eine Kugelform annehmen; bei ausdehnsamen zeigt sich nicht nur keine Cohäsion, sondern eine abstossende Molecularkraft, so dass sie das Bestreben haben, ihr Volumen fortwährend zu vergrössern; aber man kann dieses durch äussern Druck verhindern und sie immer auf ein kleineres Volumen bringen, d. h. ausdehnsame Körper sind zusammendrückbar. Das Bestreben luftförmiger Körper, das Volumen fortwährend zu vergrössern, nennt man Ausdehnsamkeit.

Ausdehnsame Körper zerfallen ferner in Gase und in Dünste. Gase nennt man vorzugsweise jene ausdehnsamen Körper, die unter den gewöhnlichen Umständen in der Natur nie tropfbar flüssig erscheinen; Dünste hingegen jene, die durch Abkühlung oder durch äussern Druck tropfbar gemacht werden können. Diejenigen Dünste, die bei hohen Temperaturen, namentlich beim Sieden, aus den Flüssigkeiten sich entwickeln, nennt man gewöhnlich Dämpfe, während die bei gewöhnlicher Temperatur aus den Flüssigkeiten sich bildenden Luftarten insbesondere Dünste genannt werden.

§. 5. **Arten fester Körper.** Wird zur Verschiebung der materiellen Theilchen eines festen Körpers unter einander eine grosse Kraft erfordert, so heisst der Körper hart, reicht dazu eine geringe Kraft hin, so heisst er weich. Wird bei einer geringen Verschiebung der Zusammenhang der Theilchen aufgehoben, so nennt man den Körper spröde. Besteht der Zusammenhang nach geschehener Verschiebung fort, so kehren die Theilchen nach dem Aufhören der sie verschiebenden Kraft entweder in ihre früheren Lagen zurück, und der Körper heisst elastisch, oder sie behalten ihre aufgedrungenen Lagen bei, und dann heisst

der Körper geschmeidig oder nach Umständen dehnbar. Für hinreichend geringe Kräfte sind die meisten Körper elastisch; daher lässt sich zwischen elastischen und dehnbaren Körpern keine scharfe Grenze angeben.

Als Beispiel der Fähigkeit verschiedener Härtegrade dient die Härtung des Stahles, als Beispiel der Sprödigkeit die Glastropfen und Bologneser Fläschchen, als Beispiel der Elasticität Elfenbein, und Stahl in Form von elastischen Federn etc.

§. 6. **Grösse und Grenze der Elasticität.** Die aus ihren ursprünglichen Lagen verschobenen Theilchen eines elastischen Körpers kehren nach dem Aufhören der Kraftäusserung nur so lange in ihre Lagen zurück, so lange die Kraft und mit ihr die Verschiebung eine bestimmte Grösse nicht überschritten hat. Die äusserste Verschiebung, aus welcher die Theilchen noch in ihre ursprünglichen Lagen zurückkehren, heisst Elasticitätsgrenze, und die Kraft, welche die Theilchen bis zur Elasticitätsgrenze zu verrücken vermag, heisst Elasticitätsgrösse.

Die Kraft, mit welcher die Theilchen eines Körpers innerhalb der Elasticitätsgrenze in ihre ursprüngliche Ruhelage zurückzukehren suchen, nachdem sie durch einen Druck oder Zug aus derselben gebracht worden sind, ist ebenso gross als dieser Druck oder Zug und heisst die Spannkraft oder Elasticität.

Die Erfahrung lehrt, dass innerhalb der Elasticitätsgrenze die Vorrückung der Theilchen der einwirkenden Kraft proportional ist. Bezeichnet man mit G die Elasticitätsgrenze, mit Q die Elasticitätsgrösse und mit P die Kraft, welche an einem elastischen Körper von der Länge und dem Querschnitte Eins die Dehnung A bewirkt, so ist für $P < Q$ nach dem eben angeführten Erfahrungssatze $P : A = Q : G$.

Liesse sich dieser Körper ohne Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze um seine eigene Länge $= 1$ ausdehnen, so wäre dazu eine Kraft M erforderlich, die man das Elasticitätsmaass oder den Elasticitätsmodulus zu nennen pflegt. Und dann ist $P = M$ und $A = 1$, also

$$M : 1 = Q : G,$$

folglich ist der Elasticitätsmodulus

$$M = \frac{Q}{G} = \frac{P}{A} \ldots (1).$$

Ist die Verlängerung λ innerhalb der Elasticitätsgrenze, und die unbekannte Kraft x, welche dazu gehört, so hat man λ für A und x für P setzend

$$x : \lambda = Q : G, \text{ also } x = \frac{Q}{G} \lambda = M\lambda.$$

Je grösser also der Elasticitätsmodul, desto grösser muss die Kraft sein, um die gleiche Verlängerung hervorzubringen.

Nach den Versuchen von Wertheim beträgt der Elasticitätsmodul bei den mittleren Temperaturen z. B. für Silberdraht 7300, für Stahl- oder Eisendraht 18600, für Schmiedeeisen 15400. Mit der Erhöhung der Temperatur nimmt der Elasticitätsmodul ab. Wird ein Eisenstab durch den Zug von 100 Kilogramm z. B. um ein Tausendstel seiner Länge verlängert, so wird er umgekehrt durch die Belastung unter dem Drucke von 100 Kilogramm um ein Tausendstel seiner Länge verkürzt.

Die Elasticität als Federkraft oder Spannungskraft erfährt mehrfache Anwendung: 1. als bewegende Kraft, z. B. bei Taschenuhren, bei Schlössern etc., 2. zur Vermeidung heftiger Stösse, z. B. bei den Stossballen der Eisenbahnwaggons, bei Wagenfedern etc., 3. zum Messen der Zug- und Druckkräfte, z. B. beim Kraftmesser oder Dynamometer und bei Federwagen, wie bei der Zigeunerwage.

Durch lange anhaltenden Gebrauch wird die elastische Kraft vermindert, indem bei jeder dauernden Belastung bleibende Veränderungen eintreten. Aus diesem Grunde erlahmen auf die Dauer alle Federn, biegen sich die Balken in den Decken u. s. w. Auch nimmt die Elasticität mit Erhöhung der Temperatur ab.

§. 7. **Arten der Festigkeit der Körper.** Der von der Cohäsion herrührende Widerstand, den ein fester Körper der Trennung seiner Theile entgegensetzt, wird seine Festigkeit genannt. Nach der Verschiedenheit, wie die Kraft die Theilchen zu trennen sucht, z. B. durch Zerreissen, Zerbrechen, Zerdrücken, Abdrehen, unterscheidet man verschiedene Festigkeiten, als: absolute, relative, rückwirkende und Torsionsfestigkeit.

a) Absolute Festigkeit oder absolutes Tragvermögen nennt man den Widerstand, den der Körper dem Zerreissen entgegensetzt. Jene Kraft, deren geringste Verstärkung schon ein Zerreissen zur Folge hat, nimmt man als Maass der Festigkeit an. Die Erfahrung lehrt, dass die absolute Festigkeit eines Körpers mit dem Querschnitte im geraden Verhältnisse wächst.



In der Anwendung, wie bei Zugstangen, Hängesäulen, Ketten etc., nimmt man nur einen Theil der absoluten Festigkeit in Anspruch, und zwar der grösseren Sicherheit wegen bei Metallen nur $^1/_6$, bei Hölzern und Stricken aber $^1/_8$.

b) Relative Festigkeit oder relatives Tragvermögen nennt man den Widerstand, den ein Körper dem Zerbrechen entgegensetzt. Versuche und Rechnung lehren, dass die relative Tragkraft T eines an einem Ende befestigten und am freien Ende belasteten Balkens im geraden Verhältnisse mit seiner Breite B und dem Quadrate seiner Höhe H, aber im umgekehrten Verhältnisse seiner Länge L steht, also

$$T = \mu \frac{B H^2}{L},$$

worin μ ein von der materiellen Beschaffenheit abhängiger, überall erst durch Versuche zu bestimmender Proportionalitätsfactor ist, der den Namen relativer Festigkeits-Coëfficient führt.

Die Tragkraft wird $4\,T$, wenn der Balken an beiden Enden unterstützt oder befestigt und in der Mitte belastet wird; und $8\,T$, wenn in diesem Falle die Belastung über seine ganze Länge gleichmässig vertheilt ist.

Die relative Festigkeit kommt in Anwendung bei den Tragbalken der Gänge und Balkone, bei den Balken der Oberböden, bei Stiegenstufen etc.

c) Rückwirkende Festigkeit wird der Widerstand genannt, den ein Körper dem Zerdrücken entgegensetzt; sie wächst mit dem Querschnitte und nimmt mit der Länge ab, und ist unter gleichen Umständen am grössten, wenn der Querschnitt die Form des Kreises hat.

Die rückwirkende Festigkeit wird in Anspruch genommen bei Tragsäulen, Bausteinen, Pfeilern etc.

d) Torsionsfestigkeit nennt man den Widerstand, welchen ein Körper dem Abdrehen entgegensetzt. Sie kommt z. B. bei Wellbäumen in Anwendung, wächst mit der vierten Potenz des Radius der cylindrischen Welle und nimmt mit der Länge ab.

Hinsichtlich aller Arten der Festigkeit ist zu bemerken, dass sie mit der Erhöhung der Temperatur abnehmen, weil dadurch die Cohäsion geschwächt wird.

§. 8. **Adhäsion.** Das Aneinanderhaften ungleichartiger Stoffe bei unmittelbarer Berührung nennt man Adhäsion, und die dabei wirkende Molecularkraft die Adhäsionskraft. Die Stärke der Adhäsion hängt ab von der Natur der sich berührenden Körper, nimmt mit der Menge der Berührungspunkte zu und mit der Temperatur ab. — Ein Wassertropfen, den man auf eine reine Glasplatte bringt, breitet sich auf derselben aus, weil die Adhäsion grösser ist als die Cohäsion seiner Theile; wird aber die Glasplatte mit einer noch so dünnen Fettschichte überzogen, so nimmt die Adhäsion ab, die Cohäsion gewinnt die Oberhand, der Tropfen bleibt rund und zerfliesst nicht.

Von der Adhäsion macht man Gebrauch beim Schreiben, Zeichnen Malen, Anstreichen, Löthen, bei der Lithographie, Buchdruckerei etc. etc. — Die Stärke der Adhäsion wird durch das Gewicht gemessen, welches zum Auseinanderreissen zweier adhärirender Körper nöthig ist. — Adhäsionsplatten.

§. 9. **Lösung.** Viele Körper nehmen in Folge der Molecularanziehung Flüssigkeiten, mit denen sie in Berührung stehen, in sich auf, d. h. sie absorbiren die Flüssigkeiten. Ist die Adhäsionskraft zwischen den Theilchen des Körpers und der absorbirten Flüssigkeit grösser als die Cohäsionskraft der Körpertheilchen, so wird der Zusammenhang der Körpertheile aufgehoben, der Körper löst sich in der Flüssigkeit und bildet mit ihr ein gleichartiges Ganze, Lösung genannt, welches die Eigenschaften der Bestandtheile an sich erkennen lässt. Die Flüssigkeit, in der sich der Körper löst, heisst Lösungsmittel.

Bestimmte Flüssigkeiten sind im Stande nur gewisse Körper zu lösen, und auch diese nur in gewissen Verhältnissen, denn bei einer bestimmten Menge des aufgelösten Stoffes erscheint die Flüssigkeit gesättigt und löst nichts mehr von dem Körper. So lösen sich in 100 Gewichtstheilen Wasser 35 Gewichtstheile Kochsalz, aber mehr nicht. Oft steigt die Sättigungsgrenze höher, wenn die Temperatur steigt; so z. B. lösen sich $13\frac{1}{2}$ Gewichtstheile Salpeter in 100 Gewichtstheilen Wasser von 0°, in siedend heissem Wasser dagegen 216 Gewichtstheile.

Vereinigen sich zwei in Berührung gebrachten Flüssigkeiten in Folge ihrer Molecularanziehung zu einem gleichartigen Ganzen, welches die Eigenschaften der Bestandtheile an sich trägt, so nennt man diese Art Lösung eine Mischung.

§. 10. **Krystallisation.** Wird einer gesättigten Lösung ein Theil des Lösungsmittels langsam entzogen, so muss ein Theil des gelösten Stoffes wieder in den festen Zustand übergehen. Wird dieser Vorgang vor fremdartigen Einflüssen geschützt, d. h. wird die erstarrende Materie ihren natürlichen Kräften überlassen, so erhält der Körper sehr häufig eine regelmässige Gestalt. Man nennt solche regelmässig gestaltete, von ebenen Flächen begrenzte Körper Krystalle und den Vorgang ihrer Bildung Krystallisation. Da die Theile einer Flüssigkeit, folglich auch die des gelösten Körpers, absolut leicht verschiebbar sind, so schliessen wir, dass die Krystallisation das Resultat der freien, natürlichen Wirkung der Molecularkräfte ist.

Damit also ein krystallisirbarer Körper krystallisirt, muss er im Allgemeinen früher flüssig gemacht und dann die Ursache des Flüssigseins langsam beseitigt werden, damit er aus einem freien Zustande seiner Theile in den festen Zustand übergehe. Bei gelösten Körpern geschieht dies durch Abdampfen oder durch Herstellung jener Temperatur, bei der eine geringere Menge löslich ist, bei geschmolzenen durch langsame Abkühlung.

Als Beispiele dienen Kochsalz, Alaun, Salpeter, Schwefel etc.

Krystallisirte Stoffe unterscheiden sich von nicht krystallisirten durch eine grössere Härte, häufig auch durch einen schönen Glanz, Durchsichtigkeit, Farbe etc.

§. 11. **Begriff der Chemie, chemische Verbindung und ihre Ursache.** Die Chemie ist jene Wissenschaft, welche die aus der gegenseitigen Berührung der Körper hervorgehenden materiellen Veränderungen untersucht. Die chemischen Erscheinungen bringen eine gänzliche Aenderung in den natürlichen physikalischen Eigenschaften der Körper hervor.

Treten die Theilchen verschiedenartiger Stoffe vermöge der unter ihnen herrschenden Anziehungskräfte in eine so innige Verbindung, dass man an ihr die Bestandtheile und ihre Eigenschaften nicht mehr wahrnimmt und ein anscheinend ganz neuer Körper mit anderen Eigenschaften entsteht, so nennt man die Verbindung eine chemische. Eine chemische Verbindung wird, wie die Lösung, durch anziehende Molecularkräfte hervorgebracht, nur mit dem Unterschiede, dass ihre Wirkung hier viel stärker erscheint; man ist aber schon gewohnt, die eine

chemische Verbindung hervorrufende Ursache chemische Anziehung oder chemische Verwandtschaft oder auch Affinität zu nennen. Den Vorgang, durch welchen sich eine chemische Verbindung bildet, nennt man einen chemischen Process.

Als Beförderungsmittel der chemischen Verbindung dienen alle Vorgänge, durch welche die Cohäsion vermindert und die Adhäsion erleichtert wird; dahin gehört das Flüssigmachen, Pulverisiren, Erwärmen etc.

Oft erfolgt mit einer chemischen Verbindung gleichzeitig eine Trennung der Bestandtheile jener Körper, die man zu einer chemischen Verbindung benützt. Man kann aber durch passende Mittel auch jede entstandene chemische Verbindung wieder in ihre Bestandtheile zerlegen; so tritt Zinnober, mit Eisen gemengt und erhitzt, den Schwefel, der den einen Bestandtheil bildet, an das Eisen ab, woraus sich Schwefeleisen bildet, und Quecksilber, als der zweite Bestandtheil des Zinnobers, wird frei ausgeschieden.

Diesen der chemischen Verbindung entgegengesetzten Vorgang nennt man chemische Scheidung. Sie belehrt uns, dass bei der chemischen Verbindung, ungeachtet des Verschwindens der ursprünglichen Eigenschaften der Bestandtheile, die Materie derselben dennoch keine Umwandlung erlitten hat.

Bei der chemischen Scheidung stösst man auf Stoffe, die sich durch keine behannten Zerlegungsmittel mehr in heterogene Bestandtheile zerlegen lassen; man nennt diese Stoffe Grundstoffe oder Elemente, und zählt ihrer gegenwärtig an 70, wovon 63 genau erforscht sind.

§. 12. **Gesetze der chemischen Verbindung.** Auf dem Wege der Erfahrung sind bisher folgende Gesetze der chemischen Verbindungen ermittelt worden:

1. Das Gesetz der Erhaltung der Quantität der Materie. Dieses Gesetz sagt: Das Gewicht eines chemisch zusammengesetzten Körpers ist genau gleich der Summe der Gewichte seiner Bestandtheile.

2. Das Gesetz der constanten Gewichtsverhältnisse. Verbinden sich zwei Stoffe chemisch mit einander, so

geschieht dieses jederzeit in genau bestimmten Gewichtsverhältnissen. Weil die Grundstoffe in diesen Gewichtsmengen auch einander in den Verbindungen ersetzen, so nennt man diese Gewichtsmengen im Allgemeinen chemische Aequivalente oder Mischungsgewichte.

Bezieht man die Aequivalentzahlen auf das Atomgewicht des Wasserstoffes = 1 (indem man annimmt, dass ein Molecül Wasserstoff aus 2 Atomen besteht), so nennt man sie Atomgewichte.

Tabelle der Atomgewichte der Grundstoffe.

Namen	Zeichen	Atom-gewicht	Namen	Zeichen	Atom-gewicht
Aluminium	Al	27·4	Nickel	Ni	58·7
Antimon	Sb	122	Niobium	Nb	94
Arsen	As	75	Osmium	Os	199·2
Barium	Ba	137	Palladium	Pd	106·6
Beryllium	Be	9·3	**Phosphor**	P	31
Blei	Pb	207	Platin	Pt	197·5
Bor	B	11	Quecksilber	Hg	200
Brom	Br	80	Rhodium	Rh	104·4
Cadmium	Cd	112	Rubidium	Rb	85·4
Cäsium	Cs	133	Ruthenium	Ru	104·4
Calcium	Ca	40	**Sauerstoff**	O	16
Cer	Ce	92	**Schwefel**	S	32
Chlor	Cl	35·5	Selen	Se	79·5
Chrom	Cr	52·2	Silber	Ag	108
Didym	Di	95	**Silicium**	Si	28
Eisen	Fe	56	**Stickstoff**	N	14
Erbium	Er	112·6	Strontium	Sr	87·5
Fluor	Fl	19	Tantal	Ta	182
Gold	Au	197	Tellur	Te	129
Indium	In	75·6	Thallium	Tl	204
Jod	J	127	Thorium	Th	231·5
Iridium	Ir	198	Titan	Ti	50
Kalium	K	39·1	Uran	U	120
Kobalt	Co	58·7	Vanadin	V	51·3
Kohlenstoff	C	12	Wasserstoff	H	1
Kupfer	Cu	63·5	Wismuth	Bi	210
Lanthan	La	9·4	Wolfram	W	184
Lithium	Li	7	Yttrium	Y	
Magnesium	Mg	24	Zink	Zn	65·2
Mangan	Mn	55	Zinn	Sn	118
Molybdän	Mo	96	Zirkonium	Zr	89·6
Natrium	Na	23			

Diese 63 Grundstoffe bilden das Material, aus welchem die verschiedenen Naturkörper aufgebaut sind. Die grossgedruckten Elemente sind in der Natur sehr verbreitet und wichtig, die in durchschossener Schrift gedruckten kommen weniger häufig vor, sind aber in technischer Hinsicht von Wichtigkeit, während die mit einfachen Lettern weniger Bedeutung haben.

Nach dem 1. Gesetze muss das Aequivalent eines chemisch zusammengesetzten Körpers jederzeit gleich sein der Summe der Aequivalente seiner Bestandtheile. So ist das Aequivalent des Wassers $H_2O = 2 + 16 = 18$, das des Kalkes $CaO = 40 + 16 = 56$.

3. Das Gesetz der Verbindung nach Vielfachen der Atomgewichte. Die Mannigfaltigkeit der aus chemischen Verbindungen hervorgehenden Körper beruht nicht nur auf der gegenseitigen Vertretung der Grundstoffe nach ihren Atomgewichten, sondern auch auf einer Vervielfachung derselben mit ganzen Zahlen. So entstehen aus S und O durch blosse Vervielfachung des O die wesentlich verschiedenen Verbindungen: schweflige Säure $= SO$ und Schwefelsäureanhydrat $= SO_3$.

Dieses Gesetz gilt auch für alle höheren Verbindungsstufen.

4. Das Gesetz der Volumverhältnisse. Verbinden sich zwei gasförmige Stoffe von gleicher Temperatur und Spannung zu einem gasförmigen Produkte von derselben Temperatur und Spannung, so stehen die Volumina der Bestandtheile unter einander und das Volumen der Verbindung zur Summe der Volumina der Bestandtheile in sehr einfachen Verhältnissen. Dividirt man das Aequivalentgewicht P eines Stoffes durch sein specifisches Gewicht S, so erhält man sein Aequivalentvolumen

$$V = \frac{P}{S}.$$

Das Aequivalentvolumen v des Wasserstoffes z. B. ist zweimal grösser als das des Sauerstoffes, und das Volumen V_1 des daraus entstandenen Wasserdampfes bei derselben Temperatur und Spannung $V_1 = \frac{2}{3}(v + 2v) = 2v$.

5. Das Gesetz von Avogadro. Dieses lautet: Die Gase enthalten bei gleicher Temperatur und gleichem Drucke die gleiche Anzahl Molecüle.

R. Clausius hat gezeigt, dass sich aus diesem Gesetze die Volumverhältnisse der zusammengesetzten Gase (4. Gesetz) erklären lassen, wenn man annimmt, **dass die Molecüle der einfachen Gase 2 atomig sind.** So z. B.

1 Volum oder Molecül Sauerstoff $= 2$ Atome $= O_2 = 2O$
2 „ „ „ Wasserstoff $= 2 \times 2$ „ $= 2H_2 = 2H_2$
Verbindung: Wasserdampf $= 2(O + H_2) = 2H_2O$,

d. h. aus 3 Volumen der Bestandtheile entstehen 2 Molecüle oder 2 Volumen Wasserdampf.

Aus dem Gesetze von Avogadro folgt unmittelbar, **dass sich die Dichten oder die specifischen Gewichte zweier Gase** (bei gleichem Druck und gleicher Temperatur) **zu einander verhalten wie die absoluten Gewichte ihrer Molecüle (Moleculargewichte).**

Das **Moleculargewicht** ist die Summe der Atomgewichte der Grundstoffe des Molecüls, z. B. für 1 Wasserstoffmolecül $= 2$, sowie des Molecüls irgend einer Verbindung, z. B. für 1 Wassermolecül $H_2O = 2 + 16 = 18$.

§. 13. **Die wichtigsten chemischen Verbindungen.** Die chemischen Verbindungen befolgen eine für immer bestimmte Ordnung von der einfachsten bis zur zusammengesetztesten Verbindung.

A) **Oxyde.** Die Verbindungen des Sauerstoffes nennt man im Allgemeinen Oxyde. Die **Oxyde** sind entweder **Basen, Säuren** oder aber **indifferente Oxyde.**

a) **Basen.** Die Kennzeichen der Basen sind, dass sie
1. einen laugenhaften Geschmack geben und ätzend wirken, wenn sie im Wasser löslich sind,
2. die durch Säuren rothgefärbte Lakmustinctur wieder blau machen,
3. durch Basen in ihren Verbindungen ersetzt, und
4. vom electrischen Strome aus Salzen am **negativen Pole** ausgeschieden werden, wenn zugleich H_2O electrolysirt wird.

b) **Säuren.** Die Kennzeichen der Säuren sind, dass sie
1. einen sauern Geschmack geben, wenn sie im Wasser löslich sind,

2. im gelösten Zustande die Lakmustinctur roth färben,
3. durch Säuren in ihren Verbindungen ersetzt, und
4. vom electrischen Strome aus Salzen am positiven Pole ausgeschieden werden.

c) Indifferente Oxyde haben weder den Charakter der Base, noch der Säuren, z. B. Wasser = H_2O. — Man nennt sie Suboxyde, wenn sie weniger Sauerstoff enthalten als das basische Oxyd, und Hyperoxyde, wenn sie mehr Sauerstoff enthalten.

Von zwei basischen Oxyden eines Grundstoffes wird das an Sauerstoff reichere Oxyd, das andere aber Oxydul genannt, z. B. Eisenoxyd = Fe_2O_3, Eisenoxydul = FeO.

B) Wasserstoffsäuren. Der Wasserstoff bildet mit Chlor, Brom, Jod und Fluor Verbindungen, welche alle Eigenschaften der Säuren besitzen. Man nennt diese Verbindungen Wasserstoffsäuren. Der Wasserstoff ist der electropositive Bestandtheil.

In Berührung mit einem basischen Oxyde erzeugt eine Wasserstoffsäure ein Haloïdsalz, nämlich die Verbindung eines Metalles mit Chlor, Brom, Jod oder Fluor, z. B. Kalk CaO und Chlorwasserstoffsäure $2HCl$ gibt Wasser H_2O + Chlorcalcium $CaCl_2$.

C) Salze. Unter einem Salze versteht man die Verbindung einer Säure mit einer Basis, oder die eines Haloïdes *(Cl., Br., J., F.)* mit einem Metalle.

a) Sauerstoffsalze. Man unterscheidet neutrale, basische und saure Sauerstoffsalze. Die neutralen Salze reagiren weder wie Basen noch wie Säuren. Die basischen enthalten in der Basis, die sauren in der Säure mehr Sauerstoff als das neutrale Salz.

b) Haloïdsalze nennt man die Chlor-, Jod-, Brom- und Fluormetalle.

c) Doppelsalze bestehen aus zwei Basen, wie z. B. der Kalialaun. Dieser besteht aus einem Molecül K_2SO_4 = schwefelsaurem Kali, einem Molecül $Al_2 3SO_4$ = schwefelsaure Thonerde und aus 24 Molecülen Wasser $24H_2O$, also Kalialaun = $(K_2, Al_2)\ 4SO_4 + 24H_2O$.

D) Hydrate (Hydroxyde) nennt man die verschiedenen Verbindungen, die aus Wasser H_2O dadurch entstehen, dass 1 oder 2 Atome Wasserstoff H durch 1 oder 2 Metallatome ersetzt werden. — Vergleiche Kalihydrat etc.

§. 14. **Die wichtigsten Stoffe und ihre Verbindungen in der unorganischen Chemie.** Die Elemente pflegt man in zwei Gruppen einzureihen, in Metalle und Metalloïde.

Die Metalle haben meist einen sogenannten Metallglanz, sind die besten Wärme- und Electricitätsleiter, schmelzbar, meist krystallisirbar, verbinden sich gerne mit Sauerstoff, Schwefel und Chlor, und geben unter einander verbunden sogenannte Legierungen.

Die Metalloïde sind unter einander sehr verschieden. Als Gemeinsames könnte nur bezeichnet werden, dass ein Metalloïd nicht alle Eigenschaften eines Metalles an sich hat, und dass die Metalloïde viel mehr Affinität zu einander haben, als die Metalle.

Zu den Metalloïden rechnet man: Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Kohlenstoff, Schwefel, Phosphor, Chlor, Brom, Jod, Fluor, Bor, Kiesel.

Metalloïde.

Sauerstoff O (Oxygenium).

Der Sauerstoff kommt unverbunden in der atmosphärischen Luft, und zwar 20·9 Volumtheile O mechanisch gemengt mit 79·1 Volumtheilen Stickstoff, chemisch verbunden in den meisten Naturprodukten vor. Er ist ein farb- und geruchloses, permanentes Gas, das einzige, welches den thierischen Lebensprocess zu unterhalten vermag. Alle übrigen Gase sind entweder zum Athmen untauglich, oder gar giftig. Sauerstoff zeichnet sich durch starke Affinität zu den meisten Elementen aus. Das Eintreten einer Verbindung des Sauerstoffes mit einem Elemente heisst allgemein Oxydation; geschieht diese Verbindung unter Licht- und Wärmeentwicklung, so nennt man sie Verbrennung. Die chemischen Verbindungen, welche bei der Verbrennung entstehen, nennt man Verbrennungsprodukte, z. B. Wasser = H_2O, Kohlensäure = CO_2.

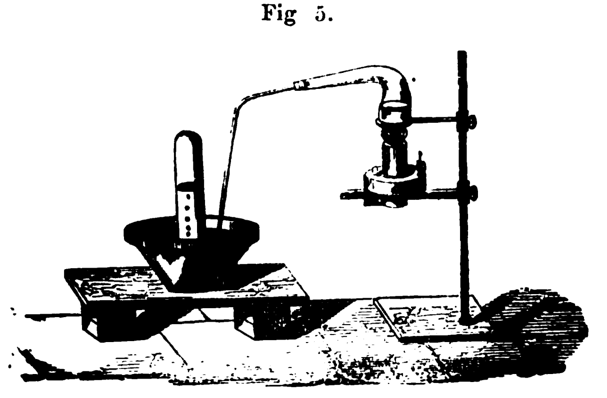
Der Sauerstoff wird gewöhnlich dargestellt durch Erhitzen von chlorsaurem Kali (Kaliumchlorat), welches dabei allen Sauerstoff abgibt, so dass in der Retorte nur Kaliumchlorid KCl zurückbleibt.

Kaliumchlorat enthält: $K = 39{\cdot}1$ Gewichtstheile
$Cl = 35{\cdot}5$ „
$O_3 = 48$ „

$KClO_3 = 122{\cdot}6$ Gewichtstheile

Man kann sich dazu des in Figur 5 abgebildeten Apparates bedienen. Zur Sicherheit des Experimentirens wird das käufliche chlorsaure Kali vorher in einer offenen Porzellanschale bis zum Beginn des Schmelzens erwärmt, und erst so vorbereitet in die Retorte gebracht.

Fig 5.



Der Sauerstoff verbindet sich beinahe mit allen andern Grundstoffen, d. h. er oxydirt sie; auch verbindet er sich mit manchen derselben in mehreren verschiedenen Verhältnissen.

Die Oxyde der Metalloïde sind meistens Säuren, die der Metalle meistens Basen, nur bei einigen Metallen sind die höheren Oxydationsstufen entschiedene Säuren.

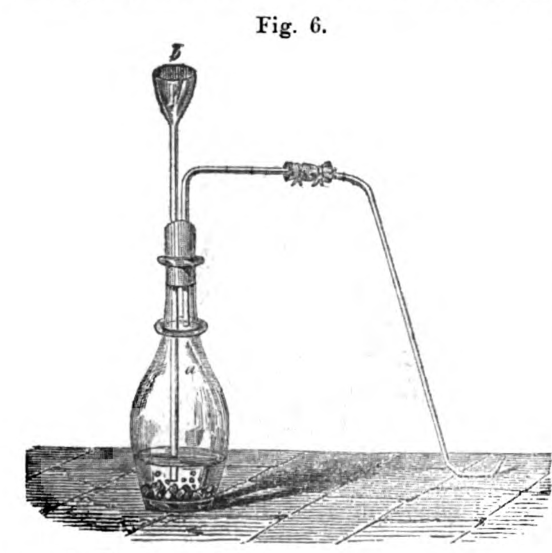
Der Sauerstoff kommt unter gewissen Umständen auch noch in einer Modification vor, worin er sich unter anderen Eigenthümlichkeiten durch erhöhte Affinität oder chemische Erregtheit (activer Sauerstoff) und durch einen eigenthümlichen Geruch, Ozongeruch, auszeichnet. In dieser Modification heisst er Ozon $= O_3$. Das Ozon bildet sich beim Durchschlagen des elektrischen Funkens durch Sauerstoff oder durch Luft. Auch bei langsamer Oxydation bildet er sich, z. B. wenn eine kleine Menge Phosphor in einer mit feuchter Luft angefüllten Flasche hängt.

Das Auftreten solcher Modificationen eines und desselben Grundstoffes wird mit dem Worte Allotropie bezeichnet.

Wasserstoff H (Hydrogenium).

Der Wasserstoff kommt unverbunden in der Natur sehr spärlich, in chemischen Verbindungen aber sehr häufig vor, besonders im Wasser, in den organischen Körpern etc. Er ist ein farb- und geruchloses, permanentes Gas, der leichteste unter allen Körpern, nämlich 16mal leichter als Sauerstoff, $14\frac{1}{2}$ leichter als atmosphärische Luft; er ist nicht respirabel, unterhält das Verbrennen nicht, ist aber selbst verbrennbar, sein Verbrennungsprodukt ist H_2O (bei der chemischen Harmonika). — Dargestellt wird H meistens dadurch, dass man auf Zink (Fig. 6) sehr verdünnte Schwefelsäure wirken lässt, wie in Döbereiner's Zündmaschine.

Fig. 6.



Process: Die Schwefelsäure $(SO_3,H_2O) = H_2SO_4$ verliert in Berührung mit Zink Zn ihren Wasserstoff H_2, welcher als Gas entweicht, und Zn tritt an die Stelle des H_2. Der Rückstand ist also $= ZnSO_4 =$ schwefelsaures Zinkoxyd oder Zinksulfat.

Da $H_2SO_4 = 98$ Gw. Th., $Zn = 65{\cdot}2$ Gw. Th. und $H_2 = 2$ Gw. Th., so braucht man 98 Gramm H_2SO_4 auf 65·2 Gramm Zn, und erhält 2 Gramm Wasserstoff und $ZnSO_3 = 161{\cdot}2$ Gramm.

Ein Gemenge von 2 Raumtheilen Wasserstoff mit 1 Raumtheil Sauerstoff gibt das sogenannte Knallgas, welches angezündet, unter heftiger Explosion zu H_2O verbrennt. (Knallgasgebläse — Platinschmelzen – Drumond'sches Licht-, Hydro-Oxygengas-Mikroskop.)

Die wichtigste und verbreitetste Verbindung des Wasserstoffes ist das Wasser H_2O. Es bildet sich beim Verbrennen von Knallgas, von Wasserstoff, von Pflanzen- und Thierstoffen.

Man unterscheidet hartes und weiches, sowie destillirtes Wasser. Das Wasser löst eine Menge fester Stoffe, in der Regel desto mehr, je wärmer es ist. Es nimmt aber auch Gase auf, besonders Kohlensäure, und zwar um so mehr, je niedriger seine Temperatur und je höher der Druck des noch nicht absorbirten Gases ist.

In Berührung mit der Luft nimmt das Wasser auch diese auf, aber den Sauerstoff in grösserem Verhältnisse, so dass die vom Wasser absorbirte Luft sauerstoffreicher ist als die freie Luft. Der Sauerstoffgehalt wird von 21 auf nahe 35 Procent erhöht. — Dadurch kann man mechanisch sehr sauerstoffreiche Luft bereiten.

Stickstoff N (Nitrogenium).

Der Stickstoff findet sich frei in der atmosphärischen Luft und nimmt nahe an 79 Volumprocente derselben ein; chemisch gebunden in Pflanzen und Thieren, dann in der Salpetersäure, im Salpeter, Ammoniak etc. Er ist ein farb- und geruchloses, permanentes Gas, unterhält den Athmungs- und Verbrennungsprocess nicht.

Am leichtesten erhält man Stickstoff dadurch, dass man Phosphor unter einer geschlossenen Glasglocke verbrennt, wodurch der Sauerstoff der abgesperrten Luft verzehrt und das Verbrennungsprodukt, die Phosphorsäure, vom Wasser absorbirt wird. Ziemlich reiner Stickstoff bleibt dann in der Glasglocke zurük.

Zu den wichtigsten Verbindungen des Stickstoffes gehören:

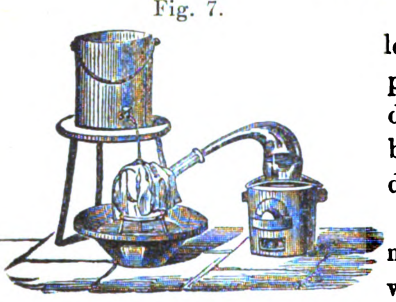
Die Salpetersäure. Sie gibt mit Wasser verdünnt die gewöhnliche Salpetersäure (Scheidewasser). Diese wird meist dargestellt aus salpetersaurem Natron (Chilisalpeter) und Schwefelsäure.

Genannte Substanzen werden in Retorten (Fig. 7) einer bedeutenden Hitze ausgesetzt, die Salpetersäure $= HNO_3$ entweicht als Dampf und wird in einer gekühlten Vorlage aufgesammelt.

Chilisalpeter $= NaNO_3$
Schwefelsäure $= H_2SO_4$

HNO_3 und $NaHSO_4$

Fig. 7.



Die Salpetersäure gibt leicht Sauerstoff an andere Körper ab, sie ist das stärkste Oxydationsmittel, und geht dabei in niedere Oxydationsstufen des Stickstoffes über.

Die Salpetersäure löst die meisten Metalle unter Entwickelung von Stickstoffoxyd-Gas auf. Gold, Platin und einige andere Metalle werden aber von der Salpetersäure gar nicht aufgelöst. Man nennt sie Scheidewasser, weil man mit ihr Gold und Platin aus ihren Legierungen abscheiden kann.

Die Salpetersäure hat eine sehr grosse Begierde nach Wasser und verdichtet an der Luft die Wasserdämpfe, die sich als Nebel über derselben zeigen. Sie unterscheidet sich von andern Säuren durch die Fähigkeit, thierische Haut, Seide, Wolle, Horn, Holz etc. dauerhaft gelb zu färben.

Stickstoffoxyd $= NO$ ist ein irrespirables, farbloses, permanentes Gas, welches, sobald es an die atmosphärische Luft tritt, durch Mehraufnahme von Sauerstoff in

Untersalpetersäure $= NO_2$ übergeht (rothbraune auf die Athmungsorgane sehr schädlich wirkende Dämpfe).

Dieselbe chemische Zusammensetzung wie die Salpetersäure $= HNO_3$ haben z. B. die Verbindungen:

Chilisalpeter (Natriumnitrat) $= NaNO_3$
Kalisalpeter (Kaliumnitrat) $= KNO_3$
Höllenstein (Silbernitrat) $= AgNO_3$

Wird also der Wasserstoff H einer Säure durch ein Metall ersetzt, so verschwinden die Eigenschaften der Säure und es entsteht ein Salz.

Ammoniak NH_3 ist ein farbloses Gas von stechendem Geruche, welches die Augen zu Thränen reizt; es wird vom Wasser stark absorbirt. — 1 Gramm Wasser absorbirt bei 0^0 0·877

Gramm oder 1149 Kubikcentimeter — (Salmiakgeist), NH_3 wird bei einem Drucke von 7 Atmosphären flüssig.

Man erhält Ammoniak durch Erhitzung des im Handel vorkommenden Salmiak (Chlorammonium $= H_4NCl$) und gebrannten Kalk nebst einem Zusatz von Wasser.

Process: 2 Salmiak $= 2H_4NCl$ + Kalk CaO $\} = H_2O + CaCl_2 + 2NH_3$

Fabriksmässig aber wird Ammoniak bei der Leuchtgasbereitung aus dem ammoniakhaltigen Theerwasser bereitet.

Ammonium NH_4 und Salmiak. Man kann Salmiak aus Ammoniak- und Chlorwasserstoffgas HCl bereiten, wenn man diese Gase in einen grösseren Glaskolben zusammenleitet. Es bildet sich dabei im Kolben ein weisser Nebel von sehr feinen Krystallen, welche nichts Anderes sind als Salmiak im festen Zustande.

$$HCl + NH_3 = H_4NCl.$$

Dieselbe chemische Zusammensetzung wie Salmiak haben die Ammoniumsalze:

Salmiak = Ammoniumchlorid $= (H_4N)Cl$
Ammoniumnitrat $= (H_4N)NO_3$
Ammoniumsulfat $= (H_4N)_2SO_4$.

Vergleicht man diese Ammoniumverbindungen mit obigen Nitraten, so erkennt man augenblicklich, dass das Ammonium NH_4 ganz die Rolle eines einfachen Radicals spielt. Weil das Ammonium die Stelle eines einfachen Radicals vertritt, so nennt man es ein zusammengesetztes Radical.

Kohlenstoff C (Carbonium).

Der Kohlenstoff gehört zu den verbreitetsten Grundstoffen. Er findet sich chemisch verbunden in allen Organismen, in Asphalt, Steinöl, Marmor, Kreide etc. Entweder ganz oder nahezu chemisch rein erscheint er in drei allotropischen Modificationen: a) tessular krystallisirt als Diamant; b) hexagonal krystallisirt im Anthracit oder Graphit; c) in Holz- und Knochenkohle ist er amorph, im Russ pulverig amorph, in den Coaks dem Graphit ähnlich.

Die künstliche Darstellung der amorphen Kohle geschicht durch Verkohlung (halbe Verbrennung), indem man Holz in Kohlenmeilern einer schwachen Glühhitze unter spärlichem

Luftzutritte aussetzt, oder indem man Steinkohlen, Knochen etc. in geschlossenen, nur mit Abzugsröhren für die Verbrennungsgase versehenen Gefässen glüht. Von den noch zurückbleibenden Beimengungen kann dann die Kohle durch weitere chemische Processe gereinigt werden.

Allen genannten Modificationen ist gemeinsam, dass der Kohlenstoff derselben nicht schmelzbar und nicht verdampfbar, geschmack- und geruchlos und vollkommen unlöslich ist. In der Glühhitze äussert die Kohle so starke Anziehung zum Sauerstoff, dass sie fast allen anderen Körpern den Sauerstoff zu entziehen vermag; man verwendet sie daher als Reductionsmittel.

Der Diamant zeichnet sich bekanntlich durch seine Härte, und geschliffen durch sein starkes Reflexions- und Brechungs-Vermögen für Licht aus.

Graphit ist ein guter Electricitäts-Leiter; er wird zu Bleistiften, Schmelztiegeln, als leitender Anstrich der Modelle in der Galvanoplastik etc. verwendet.

Holz- und Knochenkohle, frischgeglüht, haben die Eigenschaft, Luftarten und Dämpfe, färbende und riechende flüchtige Stoffe und Oele in ihre Poren aufzunehmen und dort festzuhalten. Darauf beruht ihre fäulnisswidrige Wirkung, das Entfärben der Zuckerlösung, das Reinigen des sogenannten faulen Wassers, das Entfuseln des Branntweins etc.

Nehmen grössere Massen pulverisirter Kohle brennbare Gase oder grössere Mengen Sauerstoff auf, so werden diese Gase in den Poren der Kohle zuweilen so stark verdichtet, dass sehr bedeutende Erwärmung und sogar Selbstentzündung eintreten kann.

Die wichtigsten Verbindungen des Kohlenstoffes sind:

Die Kohlensäure $= CO_2$ ist ein farbloses, nicht permanentes Gas von säuerlichem Geruch und Geschmack, ist schwerer als atmosphärische Luft und wirkt beim Einathmen erstickend. Sie kommt in der Natur häufig vor: frei in der atmosphärischen Luft, absorbirt in manchen Quellen natürlicher Sauerbrunnen, chemisch verbunden in vielen Naturprodukten. Künstlich erzeugt man sie gewöhnlich dadurch, dass man Kreide mit verdünnter Schwefelsäure, in einer Flasche wie Fig. 6, übergiesst:

Process:

$$\left.\begin{array}{ll}\text{Calciumcarbonat} & = CaCO_3\\ \text{Schwefelsäure} & = H_2SO_4\\ \text{mit Wasser} & = H_2O\end{array}\right\} = \left\{\begin{array}{l}\text{Gyps} = CaSO_4 + 2H_2O\\ \text{Kohlensäure} = \quad CO_2\end{array}\right.$$

Kohlensäure ist eine schwache, flüchtige Säure, lässt sich leicht durch eine stärkere aus ihren Verbindungen austreiben. (Künstliche Säuerlinge, Sodawasser, moussirende Weine, Biere etc., Brausepulver, Seidlitzpulver etc.) Die Kohlensäure bildet sich bei der Fäulniss und Verwesung, bei der geistigen Gährung der Weine, bei Verbrennungs- und Athmungsprocessen etc.

Das Kohlenoxydgas $= CO$ (Kohlendampf, Kohlendunst) entsteht, wenn Kohlen unter sehr schwachem Luftzutritt verbrennen. Es ist ein farb- und geruchloses, permanentes Gas, welches durch Einathmen Erstickungsfälle erzeugt.

Der Kohlenstoff geht mit Wasserstoff verschiedene Verbindungen ein, welche allgemein Kohlenwasserstoffe genannt werden. Zu diesen gehören:

Grubengas oder Sumpfgas $= CH_4$ (mit atmosphärischer Luft gemengt: schlagendes Wetter) ist ein farb- und geruchloses, irrespirables, brennbares, wenig leuchtendes Gas; es ist ein Bestandtheil mancher tellurischer Gasexhalationen, besonders in Steinkohlengruben; mit Sauerstoff gemengt und entzündet explodirt es (Davy's Sicherheitslampe).

Oelbildendes Gas $= C_2H_4$ (Aethylen), so genannt, weil es mit Chlor eine ölartige Verbindung gibt, ein übelriechendes, farbloses Gas; in grösserer Menge eingeathmet wirkt es giftig, verbrennt mit hellleuchtender Flamme, mit Sauerstoff gemengt und entzündet, explodirt es. — Diese Kohlenwasserstoffe entstehen bei der trockenen Destillation organischer Substanzen (Glühen bei Luftabschluss) und geben dann das Leuchtgas, dessen Hauptbestandtheil das ölbildende Gas ist.

Das Leuchtgas wurde zuerst 1786 von einem Engländer aus Steinkohlen dargestellt; zur Beleuchtung der Strassen benützte man es zuerst 1812 in London.

Leuchtgase kann man aus allen Gattungen fetter und ätherischer Oele, aus Harz, Theer, Holz und Steinkohlen erzeugen. Gegenwärtig werden beinahe ohne Ausnahme die Steinkohlen zur Gewinnung des Leuchtgases verwendet.

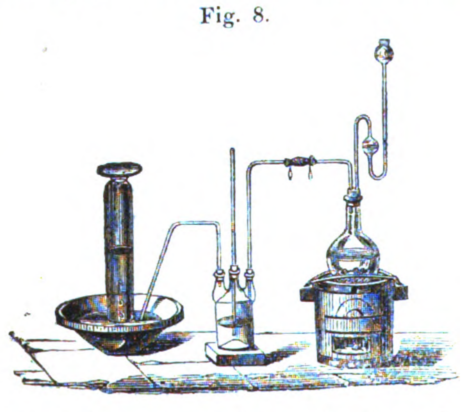
Die Steinkohlen werden zu diesem Zwecke in gusseisernen Cylindern einer starken Rothglühhitze ausgesetzt. Dadurch werden alle flüchtigen Bestandtheile aus ihnen herausgetrieben, und es bleiben sogenannte Coaks zurück. Um die erhaltenen Gase zu reinigen, leitet man sie zuerst durch Röhren, wo sich der Theer verdichtet, dann durch Wasser, welches Ammoniak und kohlensaures Ammoniak absorbirt, und durch gelöschten Kalk, der die CO_2 und zum Theil den Schwefelwasserstoff aus den Gasen in sich aufnimmt.

Das so gereinigte Leuchtgas enthält noch ölbildendes Gas, Grubengas, Wasserstoff, Kohlenoxyd und Schwefelkohlenstoff. Eine kleine Menge des dem Leuchtgase beigemengten Schwefelkohlenstoffes ist der Grund, dass sich beim Verbrennen desselben immer etwas schweflige Säure bildet.

Das gereinigte Leuchtgas sammelt man in grossen Gasometern an, und leitet es von hier durch den Druck des Gasometer-Cylinders in eigenen Röhrensystemen an den Ort, wo die Leuchtgasflamme leuchten soll.

Im Kleinen kann man das ölbildende Gas für Schulversuche und zwar am reinsten aus Weingeist mittelst Schwefelsäure erzeugen. Man mischt 1 Gewichtstheil Alkohol mit 5 bis 6 Gewichtstheilen englischer Schwefelsäure in einem Kolben (Fig. 8) vorsichtig zusammen, und erwärmt es gelinde über einem Kohlenfeuer, bis der Inhalt zu kochen beginnt. Das Gas entwickelt sich in reichlicher Menge, und man kann es entweder über Wasser in einem Recipienten auffangen, oder aber die aus der Waschflasche gehende Ableitungsröhre nach oben umbiegen und das ausströmende Gas unmittelbar anzünden.

Fig. 8.



Kohlenstoffhaltige Körper, die mit Flamme verbrennen, braucht man als Leuchtmittel, wie Talg, Brennöle, Stearin, Wachs, Petroleum, Leuchtgas, Terpentine, Steinkohlentheeröl etc.

Die einfachste Art der Erzeugung des Leuchtgases aber findet in einer Kerzenflamme statt. Der brennende Docht schmilzt das Fett unterhalb der Flamme; das geschmolzene Fett steigt vermöge der Capillarität im Dochte in die Höhe, wird durch die Feuerhitze in Dampf verwandelt, und dieser Dampf bildet das in der Flamme brennende Leuchtgas.

Die erwärmten Gase der Flamme steigen in die Höhe und bilden ihre bewegliche, schlank zugespitzte Form. Im Innern der Flamme unverbrannter Dampf, ausserhalb die sauerstoffhältige Luft. Der Sauerstoff verbindet sich zunächst mit dem Wasserstoff des Kohlenwasserstoffgases und erzeugt den untersten bläulichen Saum der Flamme; dagegen wird der Kohlenstoff zunächst frei. Unzählige Theilchen des festen Kohlenstoffes schweben inmitten des brennenden Wasserstoffes zerstreut und werden in den Zustand intensiver Gluth versetzt. Diese weissglühenden Kohlenstofftheilchen bilden das helle Licht unserer Lampen. — An der äusseren Begrenzung der Flamme verbrennt aber in einer lichten Hülle der glühende Kohlenstoff mit Sauerstoff der angrenzenden Luft zu Kohlensäure, die als unsichtbarer Dampf entweicht.

In der Flamme des Leuchtgases wird also der Kohlenstoff durch den Sauerstoff aus seiner Verbindung ausgeschieden, befindet sich dann eine Zeit lang im glühenden festen Zustande und erzeugt den Glanz des Lichtes, bevor er zu Kohlensäure verbrennt.

Eine sinnvollere und lebendigere Erscheinung als die der Flamme gibt es kaum in der Natur: das Schmelzen der Masse, das Aufsaugen derselben im Dochte, die Verdampfung, die abwechselnden Vorgänge der chemischen Verbindung und Scheidung, die Erzeugung von Hitze und Licht als äussere Erscheinungen dieser Uebergänge, die Structur der Flamme, die erzeugte Luftströmung, ihre Beweglichkeit — mit Recht ein Lieblingssymbol des geistigen Lebens.

Die Produkte der vollständigen Verbrennung unserer Brennmaterialien sind Wasserdampf und Kohlensäure. Sind die Bedingungen der Verbrennung nicht hinreichend vorhanden, so tritt eine unvollständige Verbrennung ein und die Produkte derselben sind: Russ, CO, CH_4, C_2H_4, Theer etc., die mit dem Rauche abziehen.

Als Heizmittel braucht man auch kohlenstoffreiche Körper: Holz, Torf, Braun- und Steinkohle, Holzkohle, Coaks, zuweilen auch Alkohol, Petroleum, Leuchtgas etc.

Cyan = CN. Der Kohlenstoff bildet mit Stickstoff eine Verbindung: Cyan, $CN = Cy$, ein farbloses, eigenthümlich riechendes, giftiges, condensirbares und brennbares Gas, welches wie ein Grundstoff in chemische Verbindungen eintritt. Einen solchen Stoff nennt man ein zusammengesetztes Radical. Mit Wasserstoff in Verbindung bildet es die giftige Blausäure = HCy, eine flüchtige farblose Flüssigkeit, die stark nach bitteren Mandeln riecht; mit Kalium das höchst giftige Cyankalium = KCy.

Das Cyan bildet sich, wenn man stickstoffhaltige thierische Stoffe, wie getrocknetes Blut, Fleisch, Horn oder thierische Kohle mit kohlensaurem Kali erhitzt; dabei wird zuerst Kali durch den Kohlenstoff reducirt und in Kalium verwandelt, das die Verbindung des Kohlenstoffes mit dem Stickstoffe zu Cyan veranlasst, und sich mit diesem neuen Gebilde sogleich zu Cyankalium verbindet. Im Wasser löset sich das Cyankalium auf; vermischt man diese Auflösung mit schwefelsaurem Eisenoxydul und erwärmt die Mischung, so tritt das Cyan mit dem Eisen in Verbindung und wird als blaues Cyaneisen niedergeschlagen, das nach dem Abwaschen sich unverändert übertragen lässt, und in diesem Zustande als Pariserblau im Handel vorkommt; mit Thonerde gemengt heisst es Berlinerblau. Wird eine Auflösung von Cyaneisen mit Quecksilberoxyd gekocht, so entsteht Cyanquecksilber und Eisenoxyd; letzteres scheidet sich als unlöslich ab, während Cyanquecksilber aufgelöst bleibt, und durch Abdampfen in farblosen Krystallen erhalten werden kann. Das Cyanquecksilber braucht man nur in einer Glasröhre zu erhitzen, um eine Ausscheidung des Cyans zu bewirken. Das Cyan erscheint bei dem gewöhnlichen Luftdrucke als ein farbloses, höchst giftiges Gas von durchdringendem Geruche; es brennt mit rosenfarbig-violetter Flamme, und wird vom Wasser absorbirt; das Cyan verbindet sich direct mit den Metallen, unter Licht- und Wärmeentwickelung, ebenso mit dem Sauerstoff und Wasserstoff. Ein Aequivalent Cyan bildet mit einem Aequivalent Wasserstoff die Cyanwasserstoffsäure (CyH) oder Blausäure, die zu den stärksten Giften gehört, und als eine farblose, äusserst flüchtige Flüssigkeit erscheint, die einen starken Geruch besitzt, der in der Verdünnung an bittere Mandeln erinnert. Da die Blausäure aus bittern Mandeln und aus den Körnern mehrerer Steinfrüchte durch Destillation mit Wasser gewonnen wird, so war man der Meinung, dass sie in diesen Körpern enthalten ist; allein sie ist eines der Zersetzungsprodukte, welche sich aus den Bestandtheilen dieser Körper bei Vorhandensein von Wasser und andern Bedingungen der Zersetzung bilden.

Eine Verbindung des Cyans mit Wasserstoff ist die Knallsäure; sie bil-

det mit Quecksilberoxyd das als Zündmittel bei Percussionsgewehren dienende Knallquecksilber.

Schwefel S (Sulfur).

Der Schwefel kommt in der Natur sowohl in gediegenem Zustande, als auch in chemischen Verbindungen vor, besonders mit Metallen, aber auch in Pflanzen, wie in Senf, Knoblauch, Meerrettig, Zwiebel etc.

Der Schwefel kommt in mehreren allotropischen Modificationen vor. Die gewöhnlichste und beständigste derselben ist der reine natürliche Schwefel. Dieser ist bei gewöhnlicher Temperatur fest, spröde, geschmack- und geruchlos, schmelzbar und in höherer Temperatur verdampfbar (Schwefelblumen, Stangenschwefel). Ueber 200° C. erwärmt und dann rasch abgekühlt, gibt er eine weiche, plastische, erst nach längerer Zeit erhärtende Masse. Metalle verbrennen in Schwefeldampf wie in Sauerstoff und bilden Sulfide. Die wichtigsten Verbindungen des Schwefels sind:

Schweflige Säure $= SO_2$ (Sulfuryl oder Schwefeldioxyd), ist ein farbloses, irrespirables, stechend riechendes, condensirbares Gas, welches weder verbrennt noch das Brennen unterhält, vom Wasser stark absorbirt wird (wässerige schweflige Säure) und mit manchen organischen Farbstoffen farblose Verbindungen eingeht. — SO_2 ist das Verbrennungsprodukt des Schwefels, kann aber auch durch Erwärmen von Kupfer mit concentrirter Schwefelsäure dargestellt werden.

Leitet man schweflige Säure und Sauerstoff gleichzeitig durch eine erwärmte Röhre, in der sich platinirter Bimsstein befindet, so entsteht ein dicker weisser Nebel, der Schwefelsäureanhydrid ist $= SO_3$. Diese Verbindung erscheint als weisser krystallinischer Körper, der sehr begierig und unter Wärmeentwicklung Wasser aufnimmt, wodurch die englische Schwefelsäure entsteht $= SO_3 + H_2O = H_2SO_4$.

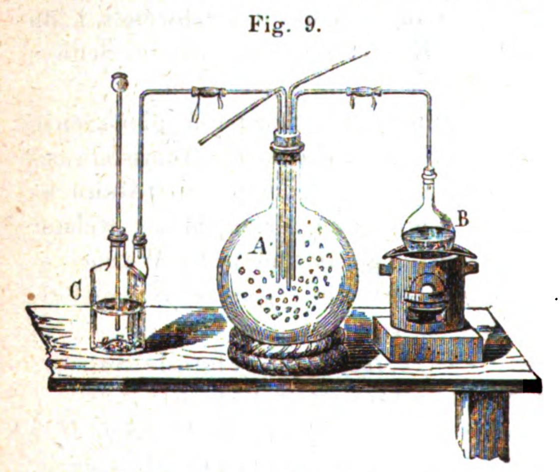
Englische Schwefelsäure, H_2SO_4 (rauchende Schwefelsäure $= 2SO_3, H_2O$, Nordhäuser- oder Vitriolöl).

H_2SO_4 ist eine klare, wasserhelle, nicht rauchende; $2SO_3, H_2O$ eine dunkelbraune, ölartige, an der Luft rauchende Flüssigkeit. Beide zeichnen sich durch heftige chemische Affinitäten aus, besonders zu Basen, so wie zu Wasser, mit dem sich beide unter

starker Erwärmung verbinden (Vorsicht!); sie wirken zerstörend auf alle organischen Substanzen (*H* und *O* entziehend, also verkohlend). Die englische Schwefelsäure löst die meisten Metalle auf, und treibt alle anderen Säuren auf nassem Wege aus ihren Verbindungen aus. Sie findet in der chemischen Technik eine sehr ausgedehnte Verwendung, wie bei der Darstellung verschiedener Säuren und Salze, zum Trocknen der Gase, in der Färberei und Zeugdruckerei etc.

Englische Schwefelsäure wird im Grossen durch Verbrennen von *S* erhalten, indem man SO_2 über Salpetersäure $= HNO_3$ hinstreichen und in eigenen Bleikammern atmosphärische Luft und Wasserdampf hinzutreten lässt. SO_2 reducirt einen Theil von HNO_3 zu NO und oxydirt sich selbst zu SO_3, das Produkt SO_3 wird von den Wasserdämpfen aufgenommen und das so gebildete Schwefelsäurehydrat SO_3,H_2O sammelt sich im flüssigen Zustande auf dem Boden der Kammer. NO bildet aber bekanntlich an der atmosphärischen Luft sogleich NO_2; diesem wird vom nachströmenden SO_2 wieder Sauerstoff entzogen, so dass abermals NO daraus entsteht. So lange atmosphärische Luft in der Kammer ist, bildet NO_2 den Vermittler, aus dessen Händen gleichsam SO_2 den in der Luft vorfindlichen Sauerstoff empfängt. — Das H_2SO_4 haltige Wasser wird durch Abdampfen concentrirt.

Fig. 9.



Den Vorgang der **Darstellung** von **Schwefelsäure** in Bleikammern kann man mittelst des Apparates (Fig. 9) in der Schule nachmachen. Wie sich im Kolben *B* durch Erwärmung von H_2SO_4 und Kupfer SO_2 entwickelt, giesst man in die Flasche *C* auf **Kupferspäne** HNO_3, wodurch sich NO bildet. Die Dämpfe von beiden vereinigen sich im Ballon *A* und erzeugen (bei Gegenwart von Wasser)

nach Einblasen der Luft durch die Seitenröhren den Process der Schwefelsäurebildung.

Schwefelwasserstoff = SH_2, ist ein farbloses, nach faulen Eiern riechendes, giftiges, vom Wasser absorbirbares (Schwefelwasserstoffwasser) Gas, welches angezündet mit blauer Flamme brennt.

Es wird meistens aus Schwefeleisen und verdünnter Schwefelsäure dargestellt.

Process:

$$\left.\begin{array}{l}\text{Schwefeleisen} = FeS \\ \text{Schwefelsäure} = H_2SO_4\end{array}\right\} = \left\{\begin{array}{l}\text{Eisensulfat} = FeSO_4, \\ \text{und } H_2S.\end{array}\right.$$

H_2S ist eines der wichtigsten Reactionsmittel in der analytischen Chemie. (Charakteristisch gefärbte Niederschläge vieler Metalle, Weinprobe etc.)

Es werden nämlich viele Metalllösungen durch H_2S in unlösliche Schwefelmetalle verwandelt, welche oft an der eigenthümlichen Farbe des Niederschlages erkannt werden können.

Schwefelkohlenstoff = CS_2, ist eine farblose, leicht verdampfbare, übelriechende, stark Licht brechende Flüssigkeit, welche Schwefel, Phosphor, Harze, Kautschuk, Fette etc. sehr leicht löst.

Man erhält CS_2 durch Verbrennung des Kohlenstoffes in Schwefeldampf, wenn man über glühende Kohlen Schwefeldämpfe leitet.

Die Dämpfe des CS_2 wirken beim Einathmen giftig, erzeugen Schwindel, Congestionen und heftiges Erbrechen; der Luft beigemischt geben sie ein leicht entzündliches, heftig explodirendes Gasgemenge.

Man benützt CS_2 als Lösungsmittel für Harze und Gutta-Percha, zum Vulkanisiren des Kautschuks und der Gutta-Percha etc.

Phosphor P (Phosphorus).

Der Phosphor kommt in der Natur ziemlich häufig, aber fast nur in phosphorsauren Salzen verbunden vor, z. B. im Apatit, in den Knochen als phosphorsaurer Kalk, in den Samen der Pflanzen etc.

Den Phosphor stellt man aus Knochen dar, die phosphorsauren Kalk enthalten, indem man das Pulver der geglühten

Knochen mit verdünnter Schwefelsäure erwärmt. Es bildet sich der unlösliche Gyps und eine Lösung von saurem phosphorsauren Kalk (Calciumhydrophosphat), welche klar abgegossen wird. Diese Lösung wird abgedampft, mit Holzkohlenpulver innig vermengt, getrocknet und endlich in Thonretorten erhitzt, wobei sich die Hälfte des Phosphors verflüchtigt und unter Wasser ansammelt.

Unter den verschiedenen allotropischen Modificationen desselben sind der sogenannte gewöhnliche Phosphor und der rothe Phosphor die zwei wichtigsten. Beide Arten schmelzen, kochen, verdampfen und verbrennen unter geeigneter Temperaturerhöhung etc., jedoch rascher und heftiger als Schwefel.

Der gewöhnliche Phosphor ist bei gewöhnlicher Temperatur weich und biegsam, unter 0° spröde, durchscheinend, farblos oder gelblich, in Wasser ganz unlöslich, in Aether und Weingeist schwach, in CS_2 reichlich löslich, und krystallisirt aus dieser Lösung. An der Luft oxydirt er sich langsam unter schwachem Leuchten (Phosphoresciren) und unter Erwärmung (Selbstentzündung des P, Aufbewahrung unter H_2O); auf den thierischen Organismus wirkt Phosphor giftig.

Der rothe Phosphor ist eine schwach glänzende, undurchsichtige, braunrothe bis scharlachrothe, spröde Masse, welche in allen obigen Lösungsmitteln ganz unlöslich, nicht giftig und an der Luft schwerer oxydirbar ist. Während der gewöhnliche Phosphor schon bei 44° schmilzt, leuchtet dieser erst bei 200° und geht bei 250° in den gewöhnlichen über.

Durch Reibung können beide Arten zur Entzündung gebracht werden, die erste Art aber viel leichter und wird deshalb zur Darstellung der Streichzündhölzchen verwendet.

Geschmolzener Phosphor wird bei der Zündhölzchenfabrikation in warme dicke Gummi- oder Leimlösung fein vertheilt, diesem Gemenge meistens noch oxydirende Stoffe: Braunstein oder Salpeter, oder $KClO_3$ etc. und färbende Substanzen, z. B. Zinnober, zugesetzt. In diesen Teig werden die Hölzchen mit ihren Enden, die schon vorher in Schwefel oder Stearinsäure getaucht wurden, eingetaucht.

Die wichtigsten Verbindungen des Phosphors sind:

Phosphorige Säure, H_3PO_3, entsteht, wenn Phosphor bei

gewöhnlicher Temperatur an feuchter Luft sich oxydirt. Bei dieser langsamen Verbrennung entstehen weisslich leuchtende Nebel.

Die wasserfreie Phosphorsäure (Phosphorsäureanhydrid), P_2O_5, erhält man wasserfrei in Gestalt eines weissen, amorphen Pulvers, wenn Phosphor in trockenem Sauerstoff verbrannt wird. Sie hat grosse Neigung Hydrate zu bilden, wodurch gewöhnliche Phosphorsäure H_3PO_4 entsteht, und findet sich sehr häufig an Basen gebunden, z. B. als phosphorsaurer Kalk in den Knochen. Die wasserfreie Phosphorsäure zieht mit grosser Begierde den Wasserdampf der Luft an, — weshalb sie als vortreffliches Trockenmittel für Gase angewendet wird, — und zerfliesst, indem sich die dreibasische Phosphorsäure $= H_3PO_4$ bildet.

Phosphor bildet mit Wasserstoff mehrere Verbindungen; dahin gehören der gasförmige Phosphorwasserstoff $= PH_3$, farblos, giftig, nach faulen Fischen riechend, entzündlich bei 100° C., und der flüssige Phosphorwasserstoff $= P_2H_4$, äusserst flüchtig und an der Luft von selbst entzündlich. — Dämpfe von dieser Verbindung gemengt mit der ersten erhält man durch Erhitzen (Fig. 10) von einigen Stückchen Phosphor in starker Aetzkalilauge. Die aus dem Wasser aufsteigenden Blasen entzünden sich in Folge des dem PH_3 beigemischten P_2H_4 und verbrennen zu Phosphorsäure, welche in Form von Nebelringen aufsteigt.

Fig. 10.



Chlor Cl (Chlorum).

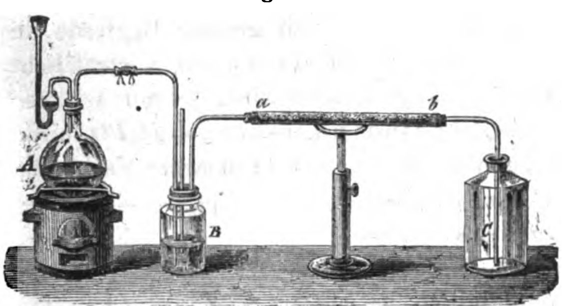
Das Chlor findet sich in der Natur nie unverbunden, dagegen kommt es mit Natrium verbunden sehr häufig als $NaCl$ = Kochsalz vor.

Man stellt Chlor durch Erhitzung von gepulvertem Braunstein oder Manganhyperoxyd MnO_2 und verdünnter Salzsäure HCl dar (Fig. 11). Chemischer Process:

$$\left.\begin{array}{ll}\text{Mangandioxyd} & = MnO_2 \\ \text{4 G. Th. Salzsäure} & = 4HCl\end{array}\right\} = \left\{\begin{array}{ll}\text{Manganchlorür} & = MnCl_2 \\ \text{2 Th. Wasser} & = 2H_2O \\ \text{Chlorgas} & = Cl_2\end{array}\right.$$

Chlor ist ein grünlich gelbes, unangenehm riechendes, sehr schädlich auf die Athmungsorgane wirkendes Gas, welches vom Wasser ziemlich stark absorbirt wird (Chlorwasser) und schwerer als die atmosphärische Luft ist, daher kann es in der Vorlegflasche C entweder als Gas angesammelt oder aber in dem Wasser, womit man die Flasche füllt, aufgefangen werden. Cl verbindet sich mit allen Metallen zu Chlormetallen; manche Körper, z. B. Antimon, verbinden sich mit Chlor directe unter Feuererscheinungen. Unter dem Einflusse chemisch wirksamen Lichtes geräth es in einen Zustand chemischer Erregtheit, in welchem es sich mit manchen Stoffen noch leichter verbindet; so z. B. in directem Sonnenlichte verbindet sich plötzlich und unter Explosion ein Gemenge von Cl und H zu ClH. Auf organische Substanzen wirkt es bleichend, zerstört schädliche Miasmen (Desinfection). Man wendet das Chlor zum Bleichen der Leinwand, Baumwolle und Papier, zum Zerstören von übelriechenden Gasen und Miasmen in Krankensälen, zur Darstellung von Chlorkalk u. s. w. an. Die bleichende Wirkung beruht auf einer Oxydation der Farbstoffe; Cl zersetzt dabei das vorhandene Wasser, verbindet sich mit H und macht O frei, der sich dann mit dem Farbstoff verbindet, wodurch dieser in eine nicht gefärbte Verbindung umgesetzt wird.

Fig. 11.



Die Verbindungen des Chlors mit andern Grundstoffen sind sehr zahlreich, darunter:

Unterchlorige Säure, $ClHO$, besitzt stark bleichende Wirkung auf Pflanzenfarben. Leitet man Chlorgas in Kalkhydrat (Aetzkalk) = CaH_2O_2, so bildet sich unterchlorigsaurer Kalk, im Handel Chlorkalk oder Bleichkalk genannt, weil er zum Bleichen verwendet werden kann. Die Zeugstücke werden zuerst in Chlorkalklösung und dann in sehr verdünnte Schwefelsäure getaucht. Das frei werdende Cl bleicht die Fasern.

Chlorsäure = $HClO_3$ wird wegen ihres Reichthums an Sauerstoff sehr häufig in ihren Verbindungen als Oxydationsmittel verwendet (besonders $KClO_3$ in Feuerwerkskunst, zur Darstellung von Sauerstoff etc.).

Chlorwasserstoff (Salzsäure) = HCl ist bei gewöhnlicher Temperatur gasförmig, farblos, erstickend, sauer riechend, wird vom Wasser sehr stark aufgenommen und gibt dann die sogenannte wässerige Salzsäure. Diese wird aus Kochsalz = $NaCl$ und H_2SO_4 dargestellt.

Chemischer Process:

$$\left.\begin{array}{l}\text{Natriumchlorid} = NaCl\\ \text{Schwefelsäure} = H_2SO_4\end{array}\right\} = \left\{\begin{array}{l}\text{Natriumhydrosulfat} = HNaSO_4\\ \text{Chlorwasserstoff} \quad = HCl\end{array}\right.$$

Die Salzsäure raucht an der Luft, löst die meisten Metalle unter Entwickelung von Wasserstoff, die Metalloxyde unter Erzeugung von Wasser auf, indem sich das Metall mit Cl verbindet. Gold und Platin vermag sie aber nicht zu lösen. Um diese zu lösen, gebraucht man Königswasser, ein Gemenge von 1 Gew. Th. HNO_3 mit etwa 2 Gew. Th. HCl. Das Metall wird darin in eine Chlorverbindung übergeführt und als Haloïdsalz gelöst. Das Königswasser wird zum Auflösen von Metallen und Mineralien, zum Beizen der Legierungen etc. benützt.

Chloroform = $CHCl_3$ ist ein Produkt der Einwirkung von Chlor auf Sumpfgas. Es ist eine farblose, bewegliche Flüssigkeit, deren Dampf eingeathmet eine vorübergehende Gefühllosigkeit gegen Schmerzen erzeugt. (Operationen; Vorsicht.)

Als Reagens auf Chlor, sei es im freien Zustande oder in Verbindung mit H oder mit Metallen, dient das Silbernitrat ($AgNO_3$). Versetzt man z. B. eine Kochsalzlösung = $NACl$ mit einer Lösung von $AgNO_3$, so entsteht ein weisser, flockiger Niederschlag von Chlorsilber = $AgCl$ und $NaNO_3$.

Jod J und Brom Br.

Das Jod ist in der Natur sehr verbreitet, aber nie unverbunden, sondern in Verbindung mit Silber und Quecksilber, ferner mit Kalium, Natrium etc. in Mineralwässern; beide kommen im Meerwasser vor und können aus der Asche der Seepflanzen gewonnen werden.

Jod ist bei gewöhnlicher Temperatur fest, erscheint in grau

glänzenden Blättchen, ist unangenehm riechend, giftig, schmelzbar und gibt bei 180° C. violette Dämpfe. Es ist krystallisirbar, im Wasser wenig, aber reichlich in Weingeist lösbar, färbt Stärkekleister blau, wie bei der Untersuchung der Luft auf Ozon-Gehalt.

Jod und Brom geben mit Wasserstoff die Jod- und die Bromwasserstoffsäure, die der Salzsäure ähnlich ist. Die drei Elemente Chlor, Jod, Brom geben mit Silber Verbindungen, welche vom Lichte zersetzt (reducirt) werden. Besonders Jod- und Bromsilber gemengt sind höchst empfindlich gegen die chemische Action des Lichtes und werden daher im photographischen Negativ-Verfahren gebraucht; — Chlorsilber, das minder empfindlich aber leichter und billiger darstellbar ist, wird im photographischen Copirverfahren verwendet.

Fluor Fl.

Das Fluor kommt nie frei, sondern nur mit Metallen verbunden vor, meistens als Fluorcalcium oder Flussspath. Rein dasselbe darzustellen ist bisher noch nicht gelungen. In seinen Verbindungen verhält sich Fluor den letzteren Elementen ähnlich, nur mit Sauerstoff konnte man es bisher noch nicht verbinden.

Flusssäure oder Fluorwasserstoffsäure = HFl ist ein farbloses, an der Luft rauchendes, für die Athmungsorgane höchst schädliches Gas, wird vom Wasser in bedeutender Menge aufgenommen, verbindet sich direct beinahe mit allen Metallen (mit Au, Ag nicht, mit Pb wenig), löst Glas auf, indem es die kieselsauren Salze in lösliche Fluorverbindungen überführt. Daher ihre Verwendung zum Aetzen auf Glas und Porzellan. Das Glas wird mit einer dünnen Schichte von Wachs, welches als Aetzgrund dient, überzogen, die zu ätzenden Stellen werden mit einem Stahlstifte eingravirt, oder die Figur, die man ätzen will, wird im Aetzgrund gezeichnet, und dann der Wirkung der Säure ausgesetzt. Man legt nämlich das Glas als Deckel auf ein Bleigefäss, in welchem man feingepulverten Flussspath mit concentrirter Schwefelsäure erhitzt und HFl bereitet.

Bor B und Kiesel Si (Silicium).

Die Oxyde dieser Elemente bilden mit Metalloxyden glasartig amorphe Verbindungen, als Glas, Glasur, Schlacke.

Bor findet sich in der Natur nur in Borsäure H_3BO_3.

Die Borsäure kommt in der Natur als Hydrat im Sassolin vor in den vulkanischen Gasströmen, die aus den Lagunen in Toscana hervorbrechen, in einigen Mineralien und borsauren Salzen.

Die Borsäure im rohen Zustande erhält man in Toscana durch Abdampfen des Wassers, durch welches man die borsauren Gasströme geleitet hat.

Von bedeutendem praktischen Interesse ist auch das in Tibet und Californien als Tinkal natürlich vorkommende zweifach borsaure Natron, welches in Europa durch Umkrystallisiren gereinigt, unter dem Namen Borax verkauft wird. Man benützt dasselbe als Reagens bei Löthrohrversuchen, indem manche Oxyde, damit verschmolzen, verschieden gefärbte durchsichtige Gläser bilden; in viel grösseren Massen aber wird es beim Löthen von Metallgegenständen verwendet, um die an einander zu löthenden Metallflächen in dem nothwendig blanken Zustande zu erhalten. In neuerer Zeit wird es in eigenen Boraxfabriken dargestellt aus der im Toscanischen gewonnenen natürlichen Borsäure, indem man sie mit Soda sättigt und krystallisirt. Die Borsäure selbst findet eine Anwendung bei der Stearinkerzen-Fabrikation; der Docht der Stearinkerzen wird mit Borsäure getränkt, wodurch sich ein in der grossen Hitze der Flamme verflüchtigendes Schmelzprodukt, das Kügelchen an der Spitze des Dochtes, bildet.

Silicium kommt in der Natur nur in Kieselsäure SiO_3, aber sehr verbreitet vor. Es ist diese Verbindung nicht nur einer der wichtigsten Bestandtheile der festen Erdrinde, als Quarz, Kiesel etc., sondern ist auch für viele Pflanzen- und Thierorganismen von grosser Bedeutung (Schuppenpanzer mancher Thiere, Kieselsäure in manchen Stengeln etc.). Feuerstein, Opal, Calcedon enthalten wasserfreie Kieselsäure. Die reine krystallisirte Kieselsäure, wie sie im Bergkrystall vorkommt, ritzt das Glas und wird nur von der Flusssäure angegriffen.

Mit Metallbasen bildet SiO_3 die sogenannten Silicate, welche den Hauptbestandtheil vieler Felsarten, besonders der krystallinischen bilden; von diesen sind nur die basischen Salze der Alkalien in Wasser löslich.

Die natürlich vorkommende Kieselsäure, den Quarz, benützt man zur Bereitung von Glas, Porzellan und Luxusgegenständen.

Das Glas ist ein Gemenge von kieselsauren Salzen mit den Basen: Kali, Natron, Bleioxyd, Kalk etc.

Alkalimetalle.

Kalium, Natrium, Cäsium, Rubidium, Lithium (Ammonium).

Die Alkalien zerlegen das Wasser lebhaft schon bei gewöhnlicher Temperatur; ihre Oxyde sind die stärksten Basen, im Wasser leicht löslich, verbinden sich gerne mit Kohlensäure zu löslichen Salzen, und wirken auf die feuchte Hand ätzend. Kali und Natron lösen sich nicht nur im Wasser leicht auf, sondern ziehen sogar das Wasser aus der Atmosphäre an sich und zerfliessen. Dann behalten sie aber ein Aequivalent Wasser, selbst wenn man sie der Glühhitze aussetzt; und in diesem Hydratzustande heissen sie ätzende Alkalien, weil sie, besonders Aetzkali, thierische Stoffe zerstören. Sie werden auch von Chirurgen als Aetzmittel verwendet, wie der Aetzstein (lapis causticus).

Kalium K.

Kalium kommt in der Natur im Feldspath und ähnlichen Silicaten nur in Verbindungen mit Sauerstoff, Chlor, Brom, Jod vor.

Kalium ist ein weiches Metall von silberweisser Farbe, glänzend, leichter als Wasser. Es oxydirt sich an der Luft sehr rasch (daher es unter Steinöl aufbewahrt wird) und zerlegt das Wasser unter Feuererscheinung. — Process:

$$\left.\begin{array}{l} \text{2 Atome Kalium} = 2K \\ \text{2 Molecüle Wasser} = 2H_2O \end{array}\right\} = \left\{\begin{array}{l} \text{1 Molecül} = H_2 \\ \text{2 Molecüle Aetzkali} = 2KHO. \end{array}\right.$$

Im Kalihydrat KHO erscheint ein H-Atom des H_2O durch ein K-Atom ersetzt.

Kalium wird dargestellt, indem man ein Gemenge von Pottasche K_2CO_3 mit Kohle in eisernen Retorten glüht und die entweichenden Kalium-Dämpfe unter Steinöl condensirt.

Unter den zahlreichen Verbindungen des Kaliums sind besonders wichtig:

Kaliumoxyd oder Kali; dieses verbindet sich mit Wasser zu

Aetzkali, Kalihydrat (Kaliumhydroxyd) KHO, das im Wasser gelöst sehr ätzend wirkt und an der atmosphärischen Luft Kohlensäure aufnimmt. Es bildet mit Fettsäuren Salze = Schmierseife.

Kohlensaures Kali (Kaliumcarbonat) K_2CO_3. Dieses Salz ist im Handel unter dem Namen Pottasche bekannt (Kalilauge), es ist in der Asche der meisten Landpflanzen enthalten, in Wasser leicht löslich, reagirt basisch, ist schwach ätzend und dient zur Darstellung beinahe aller Kaliverbindungen. — In Russland und Amerika wird die Pottasche im Grossen gewonnen, indem man Holzasche mit Wasser auslaugt, die Lauge zur Trockne eindampft und den Rückstand als rohe Pottasche in Handel bringt.

Schwefelsaures Kali (Kaliumsulfat), K_2SO_4, wird bei der Gewinnung der Pottasche häufig als Nebenprodukt erhalten und zur Darstellung des Alauns und Glases verwendet.

Salpeter, Kalisalpeter (Kaliumnitrat), KNO_3, kommt als Auswitterung an der Erdoberfläche dort vor, wo thierische Substanzen bei Gegenwart von Kalisalzen verwesen (Salpeterplantagen). Die Salpetersäure desselben bildet sich aus dem Ammoniak, das bei der Verwesung entsteht. Dieses nimmt bei Gegenwart einer Basis Sauerstoff aus der Luft auf, dabei entsteht Salpetersäure, die sich dann mit der Basis verbindet. — Es wird zur Erzeugung von HNO_3 und vorzüglich zur Gewinnung des Schiesspulvers verwendet.

Das Schiesspulver ist ein inniges Gemenge von 75 Theilen Salpeter, 13 Theilen Kohle und 12 Theilen Schwefel, die für sich sehr fein gemahlen, feucht gemengt und durch Siebe gedrückt werden, so dass kleine Körnchen entstehen, die man durch Schütteln mit Kohlenpulver in Fässern polirt. Die Kraft desselben kommt von den gasigen Verbrennungsprodukten, als Stickstoff, Kohlenoxyd, schweflige Säure; als Rückstand bleibt Kali mit etwas schwefliger Säure.

Chlorkalium, KCl, als Rückstand bei der Sauerstoffgewinnung aus $KClO_3$ bekannt, wird oft zu Kältemischungen etc. verwendet.

Jodkalium, KJ, wird durch Auflösen von J in Kalilauge (Lösung von K_2CO_3 im Wasser) und Glühen des Verdampfungs-

rückstandes bereitet; man braucht es in der Photographie, Ozonometrie etc. Ozon oxydirt das Kalium und setzt das Jod in Freiheit. Nun kann aber die geringste Menge von freiem Jod leicht nachgewiesen werden, indem es die Eigenschaft hat, Stärkemehl blau zu färben. Zur Nachweisung von Ozon bedient man sich daher Streifen von weissem Fliesspapier, die man kurz vorher in dünnen mit Jodkaliumlösung versetzten Stärkekleister getaucht hat.

Natrium Na.

Natrium kommt in der Natur verbunden sehr häufig vor, besonders in Kochsalz als *NaCl* und in zahlreichen Silicaten.

Natrium stimmt mit *K* in den wichtigsten Eigenschaften fast ganz überein; es wird auch ganz ähnlich dargestellt.

Natronhydrat (Aetznatron, Natriumhydroxyd), *NaHO*, wirkt fast wie Aetzkali, aber schwächer; die wässerige Lösung heisst im Handel Laugenessenz und dient zur Reinigung der Wäsche und zur Bereitung der Seife.

Kochsalz, *NaCl*. Es kommt sehr häufig vor, z. B. fast rein im Steinsalz, gelöst im Meerwasser und in den natürlichen Salzsoolen. Das Steinsalz wird einfach bergmännisch gebrochen und durch Umkrystallisiren gereinigt. Ist das Salz stark mit erdigen Stoffen gemengt, so wird es durch Wasser daraus gelöst und diese künstliche Soole wie die natürliche Soole eingedampft. (Gradirwerke, Sudhäuser etc.) Aus dem Meerwasser wird es in warmen Gegenden durch freiwilliges Verdunsten des in flachen Gruben stehenden Wassers gewonnen (Salzgärten); im Norden scheidet sich das Wasser als Eis ab und es bleibt eine concentrirtere Salzlösung, die in Pfannen eingedampft wird.

Chlornatrium wird bekanntlich als Würze für die Speisen, zur Gewinnung der Salzsäure und mittelbar des Chlors, so wie zur Darstellung beinahe aller Natronverbindungen, ferner als Conservationsmittel von Thier- und Pflanzenstoffen etc. verwendet.

Schwefelsaures Natron (Natriumsulfat) oder Glaubersalz, Na_2SO_4, wird zur Gewinnung von Soda, in der Glasfabrikation und Medizin etc. verwendet. Es kommt vor im Meerwasser, in Salzsoolen und in vielen Mineralquellen.

Kohlensaures Natron (Natriumcarbonat) oder Soda, Na_2CO_3, ist nach *NaCl* die am meisten verwendete Natronverbin-

dung, hat einen kühlenden, laugenhaften Geschmack. Soda kommt natürlich vor in den Salzseen in Ungarn, wurde aber in grosser Menge künstlich erzeugt durch Auslaugen der Asche gewisser Strandpflanzen oder durch Glühen eines Gemenges von Na_2SO_4, Kohle und Kreide (kohlensaurer Kalk) und nachträgliches Auslaugen der geglühten Masse. Gegenwärtig stellt man Soda aus Kochsalz dar, welches durch eine Reihe von chemischen Processen in Natriumcarbonat übergeführt wird. Soda wird zur Seifensiederei, Glasfabrikation etc. in grosser Menge verbraucht.

Doppeltkohlensaures Natron (Natriumhydrocarbonat), $NaHCO_3$, wird zur Darstellung künstlicher Säuerlinge (Sodawasser), zu den Brause- und Seidlitzpulvern etc. verwendet.

Salpetersaures Natron (Natriumnitrat), $NaNO_3$, Chilisalpeter oder Natronsalpeter kommt natürlich in Chili und Peru vor und wird als Düngemittel und zur Erzeugung von Salpetersäure und Kalisalpeter etc. verwendet.

Borsaures Natron (Natriumborat), $Na_2B_4O_7$, Borax findet sich als Mineral in Tibet, wird aber auch künstlich erzeugt, weil es vielfach zu farbigen Glasuren, zu Mineralproben vor dem Löthrohr, zum Löthen und als Flussmittel bei Schmelzoperationen gebraucht wird.

Seife. Mit den in Oelen, Talg etc. befindlichen Fettsäuren verbinden sich Kali und Natron zu Seifen, die im Wasser löslich sind. Natronseifen sind hart, Kaliseifen sind weich (Schmierseifen).

Erd-Alkalimetalle.

(Calcium, Stroncium, Barium.)

Diese zerlegen das Wasser, aber schwächer als die Alkalimetalle und oxydiren sich an der Luft; ihre Oxyde (alkalische Erden) sind ziemlich starke Basen, in H_2O schwer löslich, schwach ätzend, geben mit Kohlensäure in Wasser fast unlösliche Salze, mit Fetten im Wasser unlösliche Seifen, in der Hitze geben die kohlensauren Salze derselben CO_2 ab.

Calcium Ca.

Calcium kommt in der Natur in grossen Massen vor, meist als Oxyd in kohlensauren, schwefelsauren und andern Kalksalzen oder in Silicaten, Haloïdsalzen etc.

Kalk, CaO, auch Calciumoxyd oder Kalkerde, ist der bekannte ungelöschte Kalk. Unter starker Wärmeentwickelung verbindet er sich mit Wasser zu Kalkhydrat, gelöschtem Kalk, welcher im Wasser sehr schwach löslich ist und Kalkwasser, Kalkmilch gibt. (Erzeugung des CaO aus kohlensaurem Kalk, Kalkstein, durch Glühen und Austreiben von CO_2.) Der gelöschte Kalk nimmt mit grosser Begierde CO_2 aus der Luft auf, und auf dieser Eigenschaft beruht theilweise das Festwerden des Mörtels und der Cemente; da diese auch Sand enthalten, so entsteht mit der Zeit Calciumsilicat, welches die Festigkeit des Mörtels erhöht. Dieses Erhärten tritt besonders bei hydraulischem Mörtel ein, welches zu Bauten unter Wasser verwendet wird.

Kohlensaurer Kalk (Calciumcarbonat), $CaCO_3$, Kreide, findet sich in ungeheuren Mengen in Kalkspath, Dolomit, Marmor, Kreide, Tropfstein etc., ist ein neutrales Salz, in reinem Wasser kaum löslich, mehr aber lösbar in kohlensäurehaltigem Wasser, ist ein Bestandtheil der Knochen von Säugethieren, fast der einzige Bestandtheil der Schalen, Krusten vieler niederer Thiere, der Eierschalen etc. — Kohlensäure wird selbst durch schwache Säuren leicht aus den genannten Verbindungen ausgetrieben.

Gyps, $CaSO_4 + 2H_2O$, ist in Wasser schwach löslich, in der Glühhitze gibt er die $2H_2O$ ab (Brennen des Gypses), verbindet sich aber, wenn der gebrannte Gyps mit Wasser zu einem Brei angerührt wird, mit $2H_2O$ zu einer bald erstarrenden Masse (Gyps-Abgüsse).

Phosphorsaurer Kalk, $Ca_3 2PO_4$, kommt natürlich im Apatit, in den Knochen, insbesondere der Säugethiere vor; er ist ein treffliches Düngemittel, indem er dem Ackerboden die nothwendige Phosphorsäure zuführt.

Salpetersaurer Kalk (Calciumnitrat), CaN_2O_6, ist in Wasser leicht löslich, bildet sich gerne in Viehställen als Mauerfrass.

Chlorcalcium, $CaCl_2$, ein äusserst hygroscopisches Salz, wird im wasserfreien Zustande vielfach zum Trocknen von Gasen, Entwässern vieler Flüssigkeiten, z. B. Weingeist etc. verwendet. — Dargestellt wird es durch Auflösen von Kreide in Salzsäure.

Diese Lösung wird zur Syrupdicke eingedampft; daraus bilden sich Krystalle = $CaCl_2 + 6H_2O$, die durch Erhitzen in eine poröse Masse = $CaCl_2 + 2H_2O$ sich verwandeln. Wird diese vor Feuchtigkeit verschlossen aufbewahrt, so kann man sie als Trokkenmittel für Gase etc. anwenden.

Chlorkalk, Bleichkalk, ist ein Gemenge von unterchlorigsaurem Kalke $CaClO$ und $CaCl$, er wird als Bleich- und Desinfectionsmittel verwendet, zum Bleichen von Garn und Geweben aus Flachs und Baumwolle, zum Zerstören von Gerüchen und Farben bei faulenden Thier- und Pflanzenstoffen; in der Medizin zum Zerstören von Ansteckungsstoffen.

Erdmetalle.

Das wichtigste Glied dieser Gruppe ist das

Aluminium Al.

Aluminium ist ein Hauptbestandtheil der krystallinischen Silicate, der Schiefergebirge, des Thons, Mergels, es kommt als Fluormetall in Topas und Kryolith vor. Chemisch rein ist es schön weissglänzend, zeichnet sich durch Leichtigkeit und Geschmeidigkeit aus und bildet mit Gold, Silber, Zinn und Kupfer Legierungen, welche, so wie das Aluminium selbst, zu Luxusartikeln Anwendung finden.

Alaunerde, Thonerde (Aluminiumoxyd), Al_2O_3, findet sich krystallisirt als Korund, dessen gefärbte Varietäten den Saphir und Rubin bilden, der unreine Korund ist als Schmirgel bekannt und zeichnet sich durch grosse Härte aus. Die grosse Härte der natürlichen Thonerde bedingt die ausgedehnte Anwendung des Schmirgels als Schleifpulver für Glas und andere Gegenstände,

Kieselsaure Thonerde, Al_2SiO_8, die in Wasser unlöslich ist, im Feuer erhärtet und der wichtigste Bestandtheil des Thons ist (Töpferthon, Lehm, Porzellanerde, Töpferwaaren etc.). Diese Verbindung herrscht auch meistens in der Ackererde vor, welche ein Gemenge verschiedener Silicate mit reinem Kiessand, Kalksalzen etc., so wie mit verwesenden organischen Substanzen (Humus) in sehr wechselnden Verhältnissen ist. (Verwittern

der Gesteine, Brachen der Felder unter Einwirkung der Luft und des kohlensäurehaltigen Wassers etc.)

Alaun, Kalialaun, $(K_2, Al_2)\ 4SO_4 + 24H_2O$, ist ein Doppelsalz, welches in der Färberei und Zeugdruckerei, zur Erzeugung der Lackfarben etc. verwendet und deshalb im Grossen künstlich erzeugt wird. In dieser Verbindung kann K durch Na (Natronalaun) oder durch NH_4 (Ammoniakalaun), oder es kann Al_2 durch Fe_2 (Eisenalaun) etc. ersetzt werden, ohne dass die Krystallform (Oktaëder) eine andere würde. Man nennt solche gleichgestaltige Verbindungen, die nach einer ähnlichen Formel zusammengesetzt sind, isomorphe Verbindungen, die Erscheinung aber Isomorphie.

Feldspath $(AlK + 3Si)\ O_8$. Dieser findet sich in den meisten Felsarten, welche unter dem Einfluss der atmosphärischen Luft und kohlensäurehaltigen Wassers theils zersetzt, theils gelöst oder zerbröckelt werden (verwittern), und so aus verwittertem Feldspath Thon gebildet wird. Der Hauptbestandtheil der Thonarten ist kieselsaure Alaunerde, aber gemengt mit organischen Substanzen, Sand, Kali-, Natron-, Kalk-, Magnesia-, Eisenoxydsalzen und Wasser.

Glas. Die Silicate der Alkalimetalle sind im Wasser löslich; die der Erdalkalimetalle aber unlöslich, werden aber durch Säuren zersetzt; eine Verbindung der Alkali- und Erdalkalimetalle dagegen wird weder vom Wasser noch von Säuren angegriffen, sie ist amorph und wird Glas genannt.

Die zur Glasfabrikation am meisten verwendeten Materialien sind: Quarz, Kiessand, Pottasche, Soda, Glaubersalz, Kalk, Kreide, Bleiglätte, Mennige etc. — Schmilzt man Quarzsand, Pottasche und etwas Kohle zusammen, löst die geschmolzene Masse in Wasser, so hat man nach dem Abdampfen bis zur Syrupdicke das Kali-Wasserglas. Man verwendet es zum Kitten von Glas und Porzellan, zum Anstreichen von Holz, Leinwand, Stricken, um sie vor raschem Verbrennen zu schützen etc.

Die zwei Hauptsorten des Glases sind:

a) Cron- oder Spiegelglas (Kalkglas), vorzüglich bestehend aus Kali oder Natron mit Kalk und Kieselsäure, ist sehr hart und schwer schmelzbar.

b) Flint- oder Krystallglas (Bleiglas), vorzüglich

bestehend aus Kali mit Blei und Kieselsäure, ist schwerer als das vorige, aber weicher und leichter schmelzbar und von grösserem Farbenzerstreuungs-Vermögen; es wird zu optischen Zwecken und zu Luxusgegenständen benützt.

c) Gemeines grünes Glas ist ein unreines Gemisch der Silicate von Natrium, Calcium, Aluminium, Eisen etc., und wird für solche Zwecke verwendet, wo es weder auf Feinheit noch auf Farbe ankommt.

Magnesium Mg.

Das Magnesium ist ein Bestandtheil vieler Silicate; der Dolomit besteht aus Calcium- und Magnesium-Carbonat.

Das Metall ist silberweiss und zähe; es lässt sich in der Wärme zu Draht pressen. An der Luft erhitzt verbrennt es mit blendend weissem Lichte zu Magnesia $= MgO$.

Das Magnesiumlicht wird anstatt des Sonnenlichtes bei physikalischen Experimenten und in der Photographie benützt, indem es sehr reich an chemisch wirksamen Lichtstrahlen ist. Ein Magnesiumdraht von $^1/_3$ Millimeter Dicke brennt in einer Weingeistflamme so hell als 75 Stearinkerzen.

Kohlensaure Magnesia (Magnesiumcarbonat), $MgCO_3$, findet sich in der Natur als Magnesit. — Die als Arzneimittel angewandte kohlensaure Magnesia ist ein Gemisch von Magnesiumcarbonat und Magnesiumhydroxyd $= Mg(OH)_2$.

Magnesiumoxyd oder Magnesia, MgO, wird durch Erhitzen des Carbonats dargestellt; dieselbe wird unter dem Namen gebrannte Magnesia als Arzneimittel benützt und ist im Wasser sehr schwer löslich (gegen Arsenikvergiftung).

Magnesiumoxydhydrat bildet sich als weisser Niederschlag, wenn man zu der Lösung eines Magnesiumsalzes Kalilauge zusetzt.

Eigentliche oder schwere Metalle.

Eisen Fe (Ferrum).

Eisen wird meistens durch den Hochofenprocess aus den Erzen gewonnen (Rösten, Desoxydiren durch Glühen mit Kohle). Das hierdurch erzeugte Guss- oder Roheisen enthält 4 bis 5% Kohle und ist schmelzbar und spröde. Entzieht man diesem fast

allen Kohlenstoff, sowie Silicium, Schwefel und Phosphor (Frischherde, Puddlingsprocess), so erhält man Schmiedeeisen, welches dehnbar, in der Hitze weich und schweissbar, kalt von faseriger Structur ist. In der Mitte beider stehend ist der Stahl mit 2 bis 2·5% Kohle, hart, dehnbar, schweissbar, schmelzbar, aber auch elastisch.

Bessemer-Stahl. Durch das geschmolzene Roheisen wird in einem grossen birnförmigen Gefässe, welches aus feuerfestem Thon und Schmiedeeisen angefertigt ist, ein starker Luftstrom geblasen, wobei Kohlenstoff und Silicium vollständig oxydirt und entfernt werden und sich Schmiedeeisen bildet, welches man in Stahl verwandelt durch Zusatz einer berechneten Menge von kohlenstoffhaltigem Gusseisen (Spiegeleisen), um diesem Stahl die richtige Menge Kohlenstoff zu ertheilen.

Eisenvitriol (Ferrosulfat), $FeSO_4$ (schwefelsaures Eisenoxydul), in H_2O löslich, nimmt gerne Sauerstoff auf, gibt mit Gerbsäure (Gallussäure) blauen Niederschlag (Tinte, Färberei), der an der Luft schwarz wird, indem FeO sich in Fe_2O_3 verwandelt.

Der Magneteisenstein ist ein Gemenge von Eisenoxyd und Eisenoxydul $Fe_2O_3 + FeO$ oder Fe_3O_4 = Eisenoxyduloxyd oder magnetisches Eisenoxyd. — Das entsprechende Sulfid Fe_3S_4 = Magnetkies ist auch magnetisch.

Eisenhydrooxydul FeH_2O_2 erhält man, wenn man eine Eisenvitriollösung mit Natronhydrat versetzt, und zwar:

$$\left.\begin{matrix}\text{Eisenvitriol} = FeSO_4 \\ 2\ \text{Natronhydrat} = 2NaHO\end{matrix}\right\} = \left\{\begin{matrix}\text{Natriumsulfat} = Na_2SO_4 \\ \text{Eisenhydrooxydul} = FeH_2O_2\end{matrix}\right.$$

Man kann aber $Fe(OH)_2$ nur so rein erhalten, wenn es vor Sauerstoff völlig abgeschlossen ist; an der Luft wird es erst grün, dann schwarz und zuletzt verwandelt es sich in braunes Ferridhydroxyd oder Eisenoxydhydrat = $Fe_2H_6O_6$.

Kobalt Co und Nickel Ni.

Das Nickel ist grauweiss, sehr dehnbar, fester als Eisen, wird wie Kobalt vom Magnete angezogen, — es oxydirt sich an feuchter Luft nicht. Das Kobalt ist ein röthlichweisses, sehr zähes Metall. Die Kobaltverbindungen zeichnen sich durch bril-

lante Färbung aus, werden daher als Farben verwendet. Das Glas wird davon prachtvoll blau gefärbt (Smalte jetzt durch Ultramarin verdrängt).

Eine Legierung aus Nickel, Zink und Kupfer ist der Packfong. Dieser ist silberweiss.

Packfong galvanisch versilbert gibt das Chinasilber (Neusilber, Argentan).

Das Meteoreisen enthält stets auch Kobalt und Nickel.

Das Oxyd des Kobalts wird vorzüglich zum Blaufärben von Glas und Porzellan, das Nickel aber in der Neusilbertechnik verwendet.

Zink Zn.

Zink ist härter und leichter als Blei, billiger als Kupfer, gegen Luft und Wasser indifferenter als Eisen, daher dessen vielfache Verwendung. Zwischen 100° und 150° C. ist es dehnbar, über und unter dieser Temperatur spröde, seine Salze wirken innerlich giftig und erregen heftiges Erbrechen. Bei etwa 360° C. ist es schmelzbar. Man benützt das Zink zu galvanischen Batterien, zum Galvanisiren (Verzinken) des Eisens, zu Legierungen, wie Packfong, Messing und Bronze, zu Badewannen, Rinnen und Wasserbehältern.

Zinn Sn (Stannum).

Zinn ist silberglänzend, leicht schmelzbar, hält sich an der Luft und im Wasser lange blank, und wird deshalb besonders zum Verzinnen von Eisenblech (dann Weissblech genannt), legiert mit Blei zum Löthen (Schnellloth), zu Glasuren etc. verwendet.

Man verfertigt aus Zinn verschiedene Küchengeräthe, Legierungen, Kessel etc. und gebraucht es zum Verzinnen von Eisen, Kupfer und Messing zur Verhinderung der Oxydation. Doch sind auch Zinnsalze der Gesundheit schädlich.

Blei Pb (Plumbum).

Blei ist nach dem Eisen das verbreitetste und billigste Metall. Es wird vorzüglich aus dem Bleiglanz (Schwefelblei) gewonnen. Seine Verbindungen sind giftig. Es ist biegsam und weich, daher wenig fest.

Man braucht das Blei zum Vergiessen von Klammern und Haken in Stein, um ein Zerreissen in Folge der Längenänderung bei verschiedenen Temperaturen zu vermeiden, dann zu Kesseln und zu Legierungen. In neuerer Zeit ersetzt man die Ableitstange des Blitzableiters durch bleierne Röhren.

Bleiglätte (Bleioxyd), PbO, wird vielfach verwendet zur Herstellung des Flintglases, der Bleiglasur, Firniss, Bleiweiss etc.

Mennige, Pb_3O_4, wird als rothe Farbe verwendet (Pariserroth).

Das kohlensaure Bleioxyd kommt unter dem Namen Bleiweiss als ein sehr wichtiges Farbmaterial vor. Nicht die schöne Farbe allein empfiehlt es, sondern vorzüglich seine Deckkraft, d. i. die Eigenschaft, das Durchscheinen der Unterlage, die es in einer dünnen Schichte bedeckt, zu hindern.

Wismuth Bi (Bismuthum).

Wismuth findet sich im gediegenen Zustande, häufiger aber als Wismuthglanz Bi_2S_3. — Wismuth wird am meisten zu leicht flüssigen Legierungen, zur Construction der Thermosäulen etc. verwendet. Da es bei 260° C. schmilzt, so darf man die gewöhnliche Thermosäule nicht unvorsichtig bis zu dieser Temperatur erhitzen.

Rose'sche leichtflüssige Legierung:

2 Theile	Bi	Schmelzpunkt	260° C.	die Legierung schmilzt schon unter 100° C.
1 „	Pb	„	330° C.	
1 „	Sn	„	230° C.	

Antimon Sb (Stibium).

Antimon ist ein bläulich weisses glänzendes Metall, welches so spröde ist, dass man es im Mörser zu Pulner zerreiben kann.

Schüttet man Antimonpulver in eine Flasche mit Chlorgas, so verbinden sich die zwei Grundstoffe unter Feuererscheinung.

Die Antimon-Verbindungen sind giftig und erregen Erbrechen, und werden dieser Wirkung wegen häufig in der Medizin verwendet. Reines Antimon mit Blei legiert gibt das Lettern-Metall, mit Zinn legiert bildet es das Britannia-Metall, das zu Luxusgegenständen verwendet wird. In der Medizin wird am häufigsten verwendet ein Doppelsalz aus weinsaurem Kali und

weinsaurem Antimonoxyd, das Brechweinstein heisst. Zum Bronziren von Eisen verwendet man Dreifach-Chlorantimon $SbCl_3$.

Antimon wird auch als Electromotor zur Thermosäule verwendet, wegen seiner Sprödigkeit ist dieselbe sehr gebrechlich.

Kupfer Cu (Cuprum).

Kupfer zeichnet sich durch grosse Verwendbarkeit aus; es ist sehr dehnbar und zähe, schwer schmelzbar, wenig zum Rosten geneigt, ziemlich hart, gibt die brauchbarsten Legierungen, seine Salze sind zum Theil von brillanter grüner und blauer Farbe. Die Kupfersalze sind meist sehr giftig. Die wichtigsten Legierungen des Kupfers sind Messing, Bronze und Packfong.

Kupferoxydul, Cu_2O, kommt als Mineral in rothen Krystallen vor (Rothkupfererz); es wird zum Bronziren von Kupfermünzen, Rothfärben des Glases etc. gebraucht.

Kupferoxyd, CuO, gibt mit Borax eine schöne grüne Glasur.

Kohlensaures Kupferoxyd (Kupfercarbonat), $CuCO_3$, entsteht, wenn Kupfer lange an Luft und Wasser liegt = natürlicher Grünspan.

Kupfervitriol (Kupfersulfat), $CuSO_4 + 5H_2O$, wird besonders in der Galvanoplastik und im Grossen zur Gewinnung von Cu verwendet.

Mit Essigsäure gibt CuO mehrere Verbindungen, welche alle schlechtweg Grünspan genannt werden und durch schöne grüne Farbe sich auszeichnen.

Quecksilber Hg (Hydrargyrum).

Quecksilber kommt gediegen in der Natur vor, gefriert bei — 40° C., verdampft aber schon bei gewöhnlicher Temperatur. Seine Dämpfe sind so wie alle Quecksilberpräparate giftig, an der Luft länger erhitzt verwandelt es sich in das rothe Quecksilberoxyd HgO. Man braucht das Hg zum Ausbringen des Goldes und Silbers aus Erzen, zum Füllen der Barometer und Thermometer etc. Hg löst sich sowohl in kalter, als kochender Salpetersäure; diese Lösungen bilden die vermittelnde Uebergangsstufe zu vielen Hg-Verbindungen. HgS = einfach Schwefelquecksilber, erscheint in zwei Modificationen: α) schwarz, β) schön roth und

krystallinisch als Zinnober, welches in der Natur häufiger vorkommt als das gediegene Metall. Amalgame: Zinnamalgam für Spiegel; das Amalgam für die Electrisirmaschine besteht aus 2 Th. *Hg*, 1 Th. Zink und 1 Th. Zinn.

Silber Ag (Argentum).

Silber ist in Salpetersäure löslich, indem sich

Höllenstein, $AgNO_3$, bildet, der in der Medizin, in der Photographie und zu chemischen Processen gebraucht wird.

Chlorsiber, $AgCl$, ist in allen Säuren unlöslich, aber löslich in Salmiakgeist; wird vom Lichte reducirt und geschwärzt. Noch empfindlicher gegen die Wirkung des Lichtes sind: Jod- und Bromsilber (Daguerrotypie, Photographie).

Man wendet das Silber selten in reinem Zustande an, weil es zu weich ist; man legiert es, um es härter und fester zu machen mit Kupfer. — In einer Mark = 16 Loth hat die gesetzliche Legierung 13 Loth Silber und 3 Loth Kupfer.

Gold Au (Aurum).

Gold ist in heissem Königswasser löslich, indem sich durch die Wirkung des freiwerdenden Cl lösliches Goldchlorid $= AuCl_3$ bildet. Die Lösung von $AuCl_3$ wird zur nassen Vergoldung, Goldamalgam zur Feuervergoldung gebraucht. Zur galvanischen Vergoldung und Versilberung werden die Verbindungen dieser Metalle mit CyK verwendet.

Das Gold löst sich in Quecksilber auf, daher wird der Goldsand gestampft, geschlämmt und mit Quecksilber behandelt; aus dem entstandenen Amalgam aber wird *Hg* durch Destillation entfernt.

Auch Gold wird mit Silber oder Kupfer legiert, um es härter zu machen. Der Gehalt einer Legierung an reinem Gold wird durch die Anzahl Karat in einer Mark bezeichnet. Eine Mark zu 24 Karat, 1 Karat zu 12 Grän gerechnet.

Platin Pt.

Platin zeichnet sich vor den übrigen edlen Metallen durch seine Zähigkeit, Dehnbarkeit und Schweissbarkeit und durch höchste chemische Indifferenz aus. Das Platin ist in der höchsten

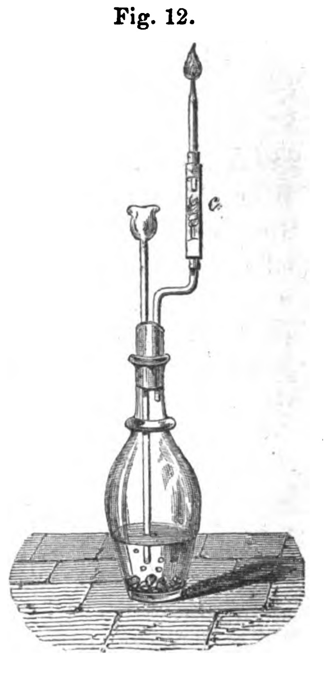
in unseren Oefen erreichbaren Hitze unschmelzbar, nur im Knallgasgebläse kann es zum Schmelzen gebracht werden. In heissem Königswasser geht es in lösliches Platinchlorid $PtCl_4$ über. (Platintiegel, Platinsalmiak, Platinschwamm, Platinmoor.) Platinschwamm absorbirt Gase in grosser Menge, noch stärker aber Platinmoor, welches auf 1 Volum 100 Volum Sauerstoff aufnimmt.

Arsen As (Arsenicum).

Reines Arsen ist seinem äussern Ansehen nach den Metallen angehörend, während sein chemisches Verhalten dasselbe zum Phosphor nahe verwandt erscheinen lässt. Bei schwacher Glühhitze verflüchtigt sich *As* unter starkem Knoblauchgeruch, ohne zu schmelzen, und verbrennt an der Luft mit blauer Flamme. Sowohl reines *As*, als auch die meisten Verbindungen desselben sind höchst giftig. (Gegenmittel: Magnesia (Magnesiumoxyd) oder frisch bereitetes Eisenoxydhydrat, welche unlösliche Arsenite bilden und dadurch die Aufnahme des Giftes in das Blut verhindern.)

Arsenige Säure, As_2O_3, oder weisser Arsenik ist sehr giftig, und wird zu Rattengift, als Oxydationsmittel in der Glasfabrikation, als Conservationsmittel und zur Darstellung von grünen Zeugfarben verwendet.

Fig. 12.



Arsenwasserstoff, AsH_3, eines der giftigsten Gase, entsteht, wenn As_2O_3 mit H im Entstehungszustande in Berührung kommt. Es verbrennt, angezündet, mit schwacher weisser Flamme. Hält man in die Flamme ein Porzellanplättchen, so schlägt sich darauf feines *As* nieder. Diese Eigenschaft benützt man zum Nachweisen von dem Vorhandensein des Arsens, indem man in die Wasserstoff-Entwickelungsflasche (Fig. 12) die zu untersuchende Flüssigkeit gibt und an die Flamme einen reinen

Porzellanteller hält. Ist Arsen vorhanden, so entsteht am Teller ein spiegelglänzender schwarzer Fleck.

§. 15. **Die Werthigkeit der Atome und der zusammengesetzten Radicale.**

a) Betrachtet man die chemische Zusammensetzung von

Chlorwasserstoff = HCl, Ammoniak = H_3N

Wasser = H_2O, Sumpfgas = H_4C,

so erkennt man, dass die Atome Cl, O, N und C alle die Fähigkeit besitzen Wasserstoff zu binden, aber jedes in einem andern Grade. Die Eigenschaft der Atome, ein oder mehrere H-Atome chemisch zu binden, nennt man die Werthigkeit der Atome.

In diesem Sinne nennt man das Chloratom einwerthig, das Sauerstoffatom zweiwerthig, das Stickstoffatom dreiwerthig und das Kohlenstoffatom vierwerthig.

Einwerthige Atome: H, Cl, Br, J, Na, K, Ag.

Zweiwerthige Atome: O, S, Se, Ba, Ca, Mg, Zn, Pb, Fe, Mn, Cu, Hg.

Dreiwerthige Atome: N, P, As, Sb, Au, Cr, Al.

Vierwerthige Atome: C, Si, Sn, Pt.

Eine wichtige Eigenschaft der gleichwerthigen Atome besteht darin, dass sie sich Atom für Atom in den Verbindungen ersetzen. Erfolgt aber zwischen ungleichwerthigen Atomen ein chemischer Austausch, so ist die Summe der Werthigkeiten der eintretenden Atome gleich der Summe der austretenden.

z. B. Sumpfgas = CH_4, Chloroform = $CHCl_3$, Kohlensäure = CO_2.

b) Jene Gruppen von Atomen, welche (wie H_4N und CN) häufig von einem Molecül in das andere unverändert übergehen, haben wir bereits als zusammengesetzte Radicale bezeichnet. Darunter sind:

Einwerthig: CN Cyan, NO_2 Untersalpetersäure (Nitryl), H_4N Ammonium, CH_3 Methyl;

Zweiwerthig: CO Kohlenoxyd (Carbonyl), SO_2 schweflige Säure (Sulfuryl).

Mit Rücksicht auf die angeführte Werthigkeit der Atome ist zu erkennen, dass diese Radicale ungesättigte Verbindungen sind. So kann sich CO noch mit O zu CO_2 verbinden.

§. 16. **Empirische und theoretische Formeln.** Die bisher gebrauchten chemischen Formeln sind empirisch, sie drücken aus, welche und wie viele Atome zu einem Molecül vereinigt sind.

Die sorgfältige Vergleichung der chemischen Verbindungen hat zu der Erkenntniss geführt, dass sie nach dem Vorbilde einiger weniger Verbindungen zusammengesetzt sind. Solche Vorbilder nennt man Typen, und unterscheidet deren vier:

1. Typus Chlorwasserstoff $\left\{\begin{matrix}H\\Cl\end{matrix}\right.$; 2. Typus Wasser $\left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}O$,

3. „ Ammoniak $\left.\begin{matrix}H\\H\\H\end{matrix}\right\}N$; 4. „ Sumpfgas $\left.\begin{matrix}H\\H\\H\\H\end{matrix}\right\}C$.

Nach Typus $\left\{\begin{matrix}H\\Cl\end{matrix}\right.$ sind zusammenges. Wasserstoff $\left\{\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right.$, Jodsilber $\left\{\begin{matrix}Ag\\J\end{matrix}\right.$;

Nach Typus $\left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}O$ „ „ Natronhydrat $\left.\begin{matrix}Na\\H\end{matrix}\right\}O$, Schwefelwasserstoff $\left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}S$ etc.

Nach Typus $\left.\begin{matrix}H\\H\\H\end{matrix}\right\}N$ „ „ Phosphorwasserst. $\left.\begin{matrix}H\\H\\H\end{matrix}\right\}P$, Chlorstickstoff $\left.\begin{matrix}Cl\\Cl\\Cl\end{matrix}\right\}N$.

Nach Typus $\left.\begin{matrix}H\\H\\H\\H\end{matrix}\right\}C$ „ „ Kohlenstoffchlorid $\left.\begin{matrix}Cl\\Cl\\Cl\\Cl\end{matrix}\right\}C$, Platinchlorid $\left.\begin{matrix}Cl\\Cl\\Cl\\Cl\end{matrix}\right\}Pt$.

Diese Typen können sich verdoppeln, verdreifachen etc. So sind nach dem doppelten Typus Wasser zusammengesetzt:

$$\left.\begin{matrix}H_2\\SO_2\end{matrix}\right\}O_2 = \text{Schwefelsäure}; \quad \left.\begin{matrix}Ca\\CO\end{matrix}\right\}O_2 = \text{Calciumcarbonat}.$$

Behandelt man Kupferoxyd mit Schwefelsäure, so entstehen Kupfersulfat und Wasser, nämlich

$$CuO + \left.\begin{matrix}H_2\\SO_2\end{matrix}\right\}O_2 = \left.\begin{matrix}Cu\\SO_2\end{matrix}\right\}O_2 + H_2O.$$

Wird in die Lösung von Kupfersulfat ein Stück Eisenblech gelegt, so bildet sich Eisensulfat und metallisches Kupfer wird ausgeschieden:

$$\left.\begin{matrix}Cu\\SO_2\end{matrix}\right\}O_2 + Fe = \left.\begin{matrix}Fe\\SO_2\end{matrix}\right\}O_2 + Cu.$$

In diesen und ähnlichen Verbindungen bildet SO_2 eine unveränderte Gruppe, das Radical Sulfuryl.

Aus dieser typischen Darstellung ist zu erkennen, dass die Schwefelsäure und sämmtliche Sulfate mit dem Wasser zu vergleichen sind, denn in der Schwefelsäure ist die Hälfte des Was-

serstoffes vom Wasser durch das Radical Sulfuryl ersetzt. Wird der Wasserstoff der Schwefelsäure durch Metallatome nach dem Grade ihrer Werthigkeit ersetzt, so entstehen Sulfate.

$\left.\begin{matrix} Na_2 \\ SO_2 \end{matrix}\right\} O_2$ = Natriumsulfat; $\left.\begin{matrix} Ca \\ SO_2 \end{matrix}\right\} O_2$ = Calciumsulfat.

Solche chemische Formeln, welche nebst der atomistischen Zusammensetzung auch noch die chemischen Reactionen und den inneren Bau der Molecüle zu erkennen geben, nennt man theoretische Formeln.

Organische Verbindungen.

§. 17. Die organische Chemie befasst sich mit jenen Verbindungen, welche unmittelbar oder mittelbar durch die in Organismen thätige Lebenskraft erzeugt werden. Die Grenze zwischen organischer und unorganischer Chemie ist keine feste, da es schon mehrfach gelungen ist, aus nicht organischen Substanzen Gebilde der Organismen herzustellen. In den thierischen Organismen können keine andern Grundstoffe vorkommen, als in den Pflanzen, welche ihnen zur Nahrung dienen. Nun gibt es nur 16 Grundstoffe, die in der Pflanzenwelt und somit auch in der Thierwelt zu finden sind; diese sind: Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor, dann die Haloïde Chlor, Brom, Jod, und wiewohl selten auch Spuren von Fluor; dann Kiesel (Silicium), ferner die Metalle: Kalium, Natrium, Magnesium, Calcium und Eisen, jedoch in Verbindung mit Sauerstoff als Kieselerde, Kali, Natron, Bittererde (Talkerde), Kalk und Eisenoxyd. Die grosse Mannigfaltigkeit organischer Verbindungen bei der geringen Anzahl von Grundstoffen, aus denen sie bestehen, wird erreicht theils durch die Vielfältigkeit der Verhältnisse, in denen sich die wenigen Grundstoffe mit einander vereinigen, theils aber auch dadurch, dass dieselbe Anzahl von Atomen einiger Grundstoffe auf eine verschiedene Art und Weise gruppirt wird.

Die Hauptmasse der Organismen besteht ungeachtet der grossen Mannigfaltigkeit derselben aus wenigen Grundstoffen: *C, H, O, N,* seltener auch aus *S, P, J, As* etc. — Die organischen Gebilde haben aber eine viel complicirtere Con-

stitution als die unorganischen, sie sind meist wenig beständig. Während des Lebens werden sie vielfach chemisch geändert, nach dem Aufhören des Lebens zerfallen sie meist in einfachere Verbindungen, ja viele können ganze Reihen von chemischen Umwandlungen durchmachen. Alle organischen Verbindungen enthalten als charakteristischen Bestandtheil den Kohlenstoff, daher nennt man die organische Chemie auch die Chemie der Kohlenstoffverbindungen.

Die organischen Gebilde können an der Luft verbrannt, das heisst in gasförmige Verbindungen übergeführt werden (Elementaranalyse).

Chemiker machten die folgenreiche Entdeckung, dass es gewisse, aus Grundstoffen zusammengesetzte Verbindungen gibt, welche in den organischen Verbindungen die Rolle von Grundstoffen spielen. Diese Stellvertreter von Grundstoffen heissen zusammengesetzte Radicale. So viele zusammengesetzte Radicale es also gibt, ebenso viele neue Elemente zur Bildung organischer Körper sind vorhanden.

Durch die Entdeckung der zusammengesetzten Radicale hat man nicht nur eine Einsicht in die Zusammensetzungsweise vieler organischer Verbindungen und in die Umwandlung der einen in die andere gewonnen, sondern man hat auch die Zusammensetzung dieser Verbindungen mit denen der unorganischen in einen Einklang gebracht und eine grössere Einfachheit in die Behandlung der organischen Körper eingeführt, welche die Auffassungsweise sehr erleichtert.

Das chemische Verhalten der organischen Substanzen nöthigt zur Annahme, dass bei der Bildung derselben die zusammengesetzten Radicale eine Hauptrolle spielen. Als solche Radicale haben wir bereits Cy und $NH_4 = Am$ kennen gelernt.

Auch die organischen Verbindungen verhalten sich entweder wie Säuren, organische Säuren, oder wie Basen, organische Basen, auch Alkaloïde genannt, oder sie zeigen sich indifferent.

a) Stickstofffreie und stickstoffhaltige Verbindungen. Die in der Pflanzenwelt vorkommenden Verbindungen zerfallen zunächst in zwei Reihen, in solche, die keinen Stickstoff

enthalten, und deshalb stickstofffreie genannt werden, und in stickstoffhaltige Verbindungen.

Unter den stickstofffreien findet man eine Reihe, die im Organismus der Pflanzen aus Kohlensäure und Wasser durch einen Desoxydations-Process gebildet werden, wobei etweder aller Sauerstoff ausgeschieden wird und Verbindungen entstehen, die nur aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammengesetzt sind, wie z. B. die zahlreiche Reihe der Champhene, oder es bleibt noch ein geringer Theil des Sauerstoffes in der Verbindung zurück, so dass Produkte entstehen, die an Sauerstoff arm sind, wie z. B. viele aromatische Oele und alle Fettarten, auch die geschmacklosen und bittern Stoffe. Die Ausscheidung des Sauerstoffes erfolgt nur nach und nach; daher werden anfänglich sauerstoffreiche Produkte als Säuren in den Pflanzen vorgefunden, die erst allmälig nach einer Reihe von Metamorphosen in die sauerstofffreien oder sauerstoffarmen Verbindungen übergehen. Häufig geht die Ausscheidung des Sauerstoffes nur so weit, dass der Rest desselben mit dem vorhandenen Wasserstoffe Wasser zu bilden vermöchte; solche Verbindungen kann man durch die Formel $Cm + nH_2O$ ausdrücken; man nennt sie auch Kohlenhydrate. Die Kohlenhydrate sind im Pflanzenreiche sehr verbreitet und bilden einen sehr wichtigen Bestandtheil der Nahrungsmittel.

Die Ausscheidung des Sauerstoffes kann aber nur bei Gegenwart von Sonnenlicht stattfinden, daher wird der Uebergang der sauerstoffreichen Bildungen in solche, die an Sauerstoff ärmer sind, bei Abwesenheit des Sonnenlichtes, mithin zur Nachtzeit nicht vor sich gehen können; dagegen desto rascher fortschreiten, je intensiver das auffallende Sonnenlicht ist, und je länger seine Einwirkung dauert; deshalb wird bei kurzen Tagen und langen Nächten nur eine geringe Menge von den an Sauerstoff armen Produkten gebildet, aber sie werden selbst im hohen Norden während des kurzen Sommers bei der langen Dauer der Tage in Nadelhölzern und Birken in grosser Menge erzeugt.

Die sauerstoffarmen Verbindungen, wie fette und ätherische Oele, sind das Endresultat der in den Pflanzen vor sich gehenden Metamorphosen, und erscheinen am reichlichsten im Samen abgelagert; da davon in nassen Jahren, in denen es am Sonnenlichte mangelt, nur wenig entstehen kann, so ist der Same in solchen Jahren nur unvollkommen ausgebildet, und ist zum Anbau nicht geeignet. Alle Culturpflanzen bedürfen zu ihrer vollkommenen Ausbildung des directen Sonnenlichtes: doch gibt es auch Pflanzen, wie Schwämme, Moose, Lichen, die nur an einem schattigen Orte, also im zerstreuten Lichte gedeihen.

Zur Nachtzeit kann die aufgenommene Kohlensäure aus Mangel an Licht nicht zersetzt werden; sie erhält sich daher in dem Safte der Pflanze unverändert, entweicht aber auch theilweise mit dem verdünstenden Wasser; hieraus wird die schon lange bei den Pflanzen beobachtete Anhäufung der Kohlensäure während der Nachtzeit erklärbar. Das Sonnenlicht verleiht den Pflanzen die Kraft, der Einwirkung des Sauerstoffes zu widerstehen; zur Nachtzeit geht ihnen diese Fähigkeit ab, weshalb der Sauerstoff während der Nacht mit manchen Stoffen, wie z. B. mit den ätherischen Oelen, mit der Gerbesäure Verbindungen eingeht, mit denen er sich am Tage nicht verbindet. Je reicher ein Pflanzentheil an solchen Stoffen ist, die sich leicht mit dem Sauerstoffe verbinden, desto mehr Sauerstoff wird derselbe während der Nacht aufnehmen, wie z. B. die von einem flüchtigen Oele durchdrungenen Nadeln der Fichten, die gerbesäurehaltigen Blätter der Eiche, die balsamischen Blätter der Pappel. Da der Geruch ätherischer Oele von einer Sauerstoffaufnahme herrührt, so wird uns erklärbar, warum manche Blumen erst nach Sonnenuntergang anfangen, einen Geruch zu verbreiten. Auch wird ersichtlich, wie es komme, dass die Blätter mancher Pflanzen am Morgen sauer schmecken, gegen Mittag geschmacklos und am Abend bitter erscheinen. Bei dieser Oxydation zur Nachtzeit werden entweder höhere Oxyde gebildet, oder es wird nur der in den Pflanzenstoffen reichlich vorkommende Wasserstoff oxydirt.

Unter den stickstoffhaltigen organischen Verbindungen sind nebst den als organische Basen bekannten Alkaloïden besonders jene merkwürdig, die nebst Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff stets etwas Schwefel enthalten, und unter den Namen Fibrin, Albumin und Caseïn oder Käsestoff bekannt sind. Sie sind nicht krystallisirbar, lassen sich nicht unzersetzt verflüchtigen und gehen leicht in Fäulniss über; sie haben nahezu dieselbe procentische Zusammensetzung, und die Verschiedenheit ihrer Eigenschaften ist grösstentheils den unorganischen, meistens phosphorsauren Salzen, die mit ihnen verbunden sind, zuzuschreiben. Diese Stoffe, die man auch Albuminoide nennt, sind die eigentlichen Nahrungsmittel der Menschen und Thiere, indem nur aus ihnen beim Vorhandensein gewisser Salze das Blut sich bildet, welches den Organen die zu ihrer Entwicklung oder zum Ersatz für verbrauchte Theile nothwendigen Elemente darbietet; weshalb sie auch blutgebende Nahrungsstoffe genannt werden. — Die stickstofffreien Nahrungsmittel der Thiere werden im Organismus besonders zur Fettbildung und zur Entwicklung der nöthigen Wärme verwendet.

Indifferente Verbindungen ohne Stickstoff.

1. Die Pflanzenfaser, Zellensubstanz, Cellulose bildet das feste Gerüste des Pflanzenkörpers. Sie hat die Constitutionsformel $C_6H_{10}O_5$, ist unlöslich, bildet, mit organischen Stoffen gemengt, die Zellenwände jeder Pflanze, Holz, Rinde, Bast, Hanf-, Leinen-, Baumwollenfaser, Hollundermark etc.

Von der concentrirten Salpeter- und Schwefelsäure, von Chlorwasser und ätzenden Alkalien wird die Cellulose zerstört.

Pergamentpapier. Taucht man ungeleimtes Papier (hauptsächlich Cellulose) in Schwefelsäure, welche mit 1/2 Volum Wasser verdünnt ist, und wäscht es dann gut aus, so erhält man das Pergamentpapier, welches grosse Aehnlichkeit mit Pergament und thierischen Blasen hat.

Wird Cellulose, die Baumwolle, mit 1 Theil concentrirter HNO_3 und 2 Theilen H_2SO_4 behandelt und dann gut ausgewaschen und getrocknet, so erleidet die Faser eine solche Veränderung, dass sie durch Reibung und Stoss zur heftigsten Explosion gebracht werden kann. So erzeugt man die

Schiessbaumwolle, Pyroxylin. Die Collodiumwolle, die sich in einem Gemenge aus Alkohol und Aether zu einer klaren Flüssigkeit, Collodium, löst, ist nicht explosiv; während die im Aether unlösliche heftig explodirt. (Verwendung des Collodiums in der Photographie, zur Erzeugung des electrischen Papieres, als Mittel für luftdichten Ueberzug etc.)

Beim freien Luftzutritt und hinreichender Hitze wird Cellulose verbrannt. Bei gehindertem Luftzug und hinreichender Hitze wird Cellulose verkohlt (trockene Destillation). Unter Zutritt von Luft und Feuchtigkeit zerfällt Cellulose, wenn gleich viel langsamer, in ähnliche Produkte wie bei der Verbrennung.

Aus Cellulose wird:

Bei der Verbrennung.	Bei der Verwesung.
In der ersten Periode.	In der ersten Periode.
Reichlich H_2O und CO_2.	Reichlich H_2O und CO_2
Halbverbranntes Holz etc.	Halbverw. Cellulose = Humus.
In der zweiten Periode.	In der zweiten Periode.
Wenig H_2O und CO_2	Wenig HO und CO_2
Rückstand: Asche.	Rückstand: Asche.

In Gegenwart von Feuchtigkeit aber schwachem Luftzutritt zerfällt Cellulose durch Fäulniss, der Vorgang ist aber nahe der Verkohlung ähnlich.

Aus Cellulose wird:

Bei trockener Destillation.	Bei der Fäulniss.
Leuchtgas und CO_2	Grubengas und CO_2
Theer, Coaks etc.	Schlamm, Torf etc.

Torf, Steinkohle und Braunkohle sind Produkte der allmäligen Zersetzung von Pflanzen im Erdboden unter Mitwirkung des Wassers.

2. Stärke, Amylum = $C_6H_{10}O_5$. Diese kommt in sehr vielen Pflanzen (Getreidearten, Kartoffel etc.) vor, ist im kalten Wasser unlöslich, quillt aber darin bei hinreichender Wärme auf (Kleister); sie kann durch blosses Rösten ohne chemische Veränderung in löslichen Stärkegummi (Dextrin), und durch Sieden mit sehr verdünnter H_2SO_4 in Stärkezucker umgewandelt werden.

Die genannten zwei Umwandlungen der Stärke gehen auch (durch die Diastase) im Malz durch das Keimen der Gerste in der Brauerei und durch den Maischprocess in der Branntweinfabrikation vor sich.

Jod gibt mit Amylum eine blaue Verbindung, daher benützt man Stärke als ein Reagens auf Jod, und umgekehrt.

3. Gummi: Stärkegummi = $C_6H_{10}O_5$ = Dextrin, Gummi und Pflanzenschleim. Dextrin findet sich in den meisten Pflanzen, seine künstliche Darstellung aus Stärke wurde eben erwähnt. Gleich zusammengesetzt ist das aus manchen Pflanzen hervorquellende Gummi, z. B. das Gummi arabicum, und der in manchen Pflanzen befindliche Pflanzenschleim, welcher sich vom vorigen hauptsächlich dadurch unterscheidet, dass er in Wasser sich nicht löst, sondern nur zu einer schleimigen Masse aufquillt. (Im Handel als Gummi-Traganth.)

4. Zucker: Traubenzucker: $C_6H_{12}O_6$
Rohrzucker: $C_{12}H_{22}O_{11}$
Milchzucker: $C_{12}H_{22}O_{11}$.

Je nach der Bildungsweise und dem Vorkommen heisst Traubenzucker bald Stärkezucker, bald Honigzucker und Harnzucker etc.

Der süsseste ist der Rohrzucker, welcher daher als Versüssungsmittel (Küchenzucker) am meisten verwendet und deshalb künstlich aus dem Zuckerrohr, den Runkelrüben etc. gewonnen wird. In der Natur am verbreitetsten ist der Stärkezucker: in den meisten Früchten (daher auch Fruchtzucker), in den Weintrauben (Traubenzucker); rein dargestellt vorzüglich aus Stärke (Stärkezucker) wird er wegen seines Aussehens auch Krümmelzucker, und ein Theil davon, welcher selbst beim Eindampfen noch schleimig bleibt, Schleimzucker genannt. Der Milchzucker findet sich vorzüglich in der Milch.

Alle Zuckersorten unterliegen unter verschiedenen Verhältnissen auch mannigfaltigen Veränderungen, so wird aus Rohrzucker in schwacher Hitze eine gelbliche, anfangs glasartig amorphe Masse (Gerstenzucker), in vermehrter Hitze ein brauner Syrup (gebrannter Zucker), in noch höherer Hitze verbrennt oder verkohlt er; mit HNO_3 gekocht gibt er Oxalsäure etc.

Die wichtigste aller Veränderungen des Zuckers ist das Verwandeln des Traubenzuckers aus seiner wässerigen Lösung in Alkohol, d. i. die geistige Gährung.

5. Weingeist, auch Alkohol $= C_2H_6O$. Wasserfrei ist er farblos, angenehm riechend und flüchtig, innerlich genommen giftig, er mischt sich mit Wasser in allen Verhältnissen und aus diesem Gemenge verdunstet er rascher als Wasser, darauf beruht die Rectifikation des Branntweins. Der Alkohol wurde noch nicht zum Gefrieren gebracht, angezündet verbrennt er zu Wasserdampf und Kohlensäure. Er wird vielfach verwendet zur Auflösung medizinischer Stoffe (Tincturen), zur Lösung von Harzen (Lackfirnisse) und flüchtigen Oelen (parfümirte Wässer), zur Darstellung von Liqueuren und künstlichen Weinen. Er ist der berauschende Bestandtheil aller geistigen Getränke. (Traubenwein, Obstwein, Bier, Branntwein, Rum etc.)

Alkohol entsteht aus der Zuckerlösung durch die geistige Gährung, wenn diese bei einer Temperatur von circa 10 bis 30° C. mit einem in Zersetzung begriffenen stickstoffhaltigen or-

ganischen Körper (Kleber, Caseïn etc.), Hefe oder Ferment genannt, in Berührung ist.

Durch die Gährung zerfällt der Traubenzucker = $C_6H_{12}O_6$ in Kohlensäure = $2CO_2$, die entweicht, und in Alkohol = $2C_2H_6O$.

Bei der Wein-, Bier- und Branntweinerzeugung wird in Folge dieser Gährung sehr viel CO_2 in den Räumlichkeiten angesammelt, daher man Vorsicht beobachten muss.

Alkohol hat im reinen Zustande einen angenehmen geistigen Geruch und brennenden Geschmack. Er löst Harze und Fette, dient zum Conserviren anatomischer Präparate und Brennmaterial (Spiritus).

Wird dem Alkohol durch Erhitzen mit dem 5—6fachen Gewichte H_2SO_4 alles Wasser entzogen, so erhält man ölbildendes Gas C_2H_4. Wird aber weniger H_2SO_4 genommen und auf 140° C. erwärmt, so erhält man Aether = $(C_2H_5)_2O$.

6. Aether = $(C_2H_5)_2O$ ist eine wasserhelle, stark riechende, äusserst flüchtige, brennbare Flüssigkeit, welche sich mit Weingeist in beliebiger Menge mischen lässt, für Fette, Harze, Kautschuk etc. als Lösungsmittel dient und gegen Säuren die Rolle einer Base spielt. — Aether mischt sich in beliebigem Verhältnisse mit Alkohol; die Hoffmannischen Tropfen bilden ein solches Gemisch.

Wird verdünnter Weingeist in Berührung mit einem sauren, sich zersetzenden Körper bei einer Temperatur von 20 bis 40° C. dem Zutritt der atmosphärischen Luft ausgesetzt, so bildet sich durch Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft Essigsäure, d. i. es tritt die saure Gährung ein.

Aus C_2H_6O wird durch Aufnahme von O zuerst: Aldehyd = C_2H_4O und H_2O und hieraus durch Aufnahme von weiterem O: Essigsäure (Eisessig) = $C_2H_4O_2$ und H_2O.

Bringt man Natronhydrat = $NaHO$ und $C_2H_4O_2$ zusammen, so erhält man Kaliumacetat = $C_2KH_3O_2$ und H_2O.

Verbindungen, die sich von der Essigsäure dadurch ableiten, dass ein Atom H durch ein Metallatom ersetzt ist, nennt man Acetate.

Unser gewöhnlicher Essig ist sehr mit Wasser verdünnte Essigsäure. Schnellessigfabrikation, Holzessig.

7. Fette und fette Oele. Je nach der Consistenz nennt man die Fette entweder Talg, Schmalz oder Oele. Die Oele unterscheidet man in fette und ätherische Oele; erstere wieder in trocknende (Leinöl, Mohnöl etc.) und in Schmieröle.

Die Fette und fetten Oele werden vielfach verwendet als Nahrungsmittel, als Leuchtmaterial, Schmiermittel bei Maschinen, zu Anstreich- und Oelfarben, zur Seifenbereitung.

Alle Fette sind Verbindungen eines indifferenten Stoffes: Glycerin (Oelsüss) mit einer oder mehreren Fettsäuren. Solche Fettsäuren sind: Stearinsäure und Margarinsäure (diese herrschen in den bei gewöhnlicher Temperatur erstarrenden Fetten vor), Oleïn-, Palmitin- und Elaïnsäure (in den flüssigen Fetten vorherrschend). Zu diesen Fettsäuren gesellen sich häufig noch flüchtige Fettsäuren: Buttersäure, Capron- Caprylsäure etc.

8. Flüchtige, ätherische Oele, Harze etc. Flüchtige Oele haben einen scharfen, bald angenehmen, bald widrigen Geruch, und verflüchtigen sich mit der Zeit vollständig. Das bekannteste und billigste derselben ist das Terpentinöl.

Hierher rechnen manche auch das Petroleum, Steinkohlentheeröl etc. — An der Luft und in nicht zu geringer Menge verwandeln sich viele flüchtige Oele in Harze — sie verharzen.

Harze sind klebrig oder fest, schmelzbar und verbrennbar, schlechte Electricitätsleiter (Electrophor), in starkem Weingeist oder in flüchtigen Oelen lösbar; sie verbinden sich mit Alkalien zu Harzseifen.

Hierher gehören: Colophonium, Schellak, Bernstein etc. (Siegellack, Politur etc.)

Gummiharze: Gummi elasticum, Guttapercha etc.

Zu den indifferenten Stoffen rechnet man noch die sogenannten Extractivstoffe und die Farbstoffe oder Pigmente.

Indifferente Verbindungen mit Stickstoff.

Die hierher gehörigen Stoffe zeichnen sich sämmtlich dadurch aus, dass an ihrer Zusammensetzung immer Stickstoff und meistens auch Schwefel Antheil nimmt, sie sind sämmtlich

dem Eiweiss ähnlich, weshalb sie allgemein eiweissartige Stoffe genannt werden; sie herrschen im Thierreich besonders bei den höhern Thierklassen weitaus vor, während im Pflanzenreich die stickstofffreien Verbindungen überwiegen. Man nennt diese Verbindungen auch Proteïnverbindungen.

Albumin (Eiweissstoff) und Caseïn (Käsestoff) kommen in den Organismen meist löslich vor (können durch Auflösung in Wasser daraus erhalten und Albumin durch Wärme, Caseïn durch Zusatz einer Säure aus der Lösung im flockigen Zustande gefällt oder coagulirt werden). Albumin findet sich gelöst in thierischen Flüssigkeiten: Blut, Lymphe, insbesondere im Thier-Ei, im Safte der Gemüsepflanzen etc., so auch in den meisten Pflanzensäften, und bildet die Hauptnahrung des jungen Thieres. Coagulirt findet sich ein ganz ähnlicher Körper in den Getreidekörnern, Kleber oder auch Pflanzenfibrin genannt.

Caseïn findet sich nicht so allgemein verbreitet im thierischen Organismus, ist aber ein wesentlicher Bestandtheil der Milch aller Säugethiere und besonders der ölgebenden Samen (Gerinnen der Milch, Käseerzeugung, Molken etc.), kommt aber auch in manchen Pflanzen, besonders in Hülsenfrüchten, mit fast denselben Eigenschaften als im thierischen Organismus vor.

Fibrin oder thierischer Faserstoff ist gelöst in Blut, Lymphe etc., gerinnt aber an der Luft sogleich zu einer zähen, fadenziehenden Masse. Dem Blutfaserstoff fast ganz gleich ist das Muskelfibrin, aus welchem die Hauptmasse des Muskelfleisches besteht.

Hierher gehören auch die sogenannten leimgebenden Substanzen, welche sich in der Haut, den Knochen und Knorpeln der Thiere befinden. Die genannten Substanzen sind zwar an und für sich in Wasser unlöslich, erlangen aber durch längeres Kochen darin eine solche Umänderung, dass sie in warmem Wasser löslich sind, beim Erkalten der Lösung zu einer Gallerte erstarren (Sulzen aus Kälberfüssen etc.) und nach dem vollständigen Verdampfen des Wassers eine spröde, durchsichtige Masse, den Leim bilden.

Jeder Eiweisskörper besitzt in einem gewissen Zersetzungsgrade die Eigenschaft, Stärkemehl in Zucker überzuführen, so z. B. Blut, Galle, Gehirnsubstanz, Hefe, Albumin von

6*

gekeimter Gerste, Speichel, faules Fleisch. Die Wirkung solcher in Zersetzung begriffener Eiweisssubstanzen kann man Diastase nennen, als Körper für sich existirt die Diastase jedoch nicht.

Organische Säuren und Basen.

a) Die organischen Säuren sind meist an organische oder unorganische Basen in den Pflanzensäften gebunden, eine geringe Anzahl findet sich im thierischen Organismus. Sie sind meistens wenig starke Säuren, einige flüchtig, nicht ätzend, nur wenige giftig, fast alle stickstofffrei. So finden sich z. B. Kleesäure oder Oxalsäure, $C_2H_2O_4$, mit Kali zu kleesaurem Kali (Kleesalz, auch oxalsaures Kali) verbunden im Sauerklee. Kleesäure ist giftig (Tilgung der Tintenflecke). Weinsäure im Traubenwein, mit Kali bildet sie den Weinstein. Citronensäure in den Citronen und vielen andern Früchten. Aepfelsäure, insbesondere in den Aepfeln, Vogelbeeren und vielen andern sauren Früchten. Ameisensäure in den Ameisen, kann auch künstlich aus Zucker nachgebildet werden. Milchsäure findet sich theils natürlich in frischem Fleisch, manchen Pflanzenstoffen, theils als Zersetzungsprodukt in der sauren Milch, im Sauerkraut etc. Gerbsäure ist im Pflanzenreiche sehr verbreitet (Eichenrinde, Galläpfel etc.), zeichnet sich durch bitterlichen und zusammenziehenden Geschmack aus (Tannin, verwendet in der Medizin), bildet mit Eisenoxydsalzen eine blauschwarze Verbindung (Tinte, Färberei) und verbindet sich mit dem leimgebenden Gewebe der thierischen Haut zu einer haltbaren, geschmeidigen, dauerhaften, zähen und festen Verbindung: Leder (Lohgerberei).

b) Eine zahlreiche Classe organischer Verbindungen hat die Eigenschaft, dass sie sich wie die basischen Metalloxyde mit Säuren zu Salzen verbinden. Diese organischen Basen kommen meistens in Pflanzen, seltener in Thieren vor.

Alkaloïde heisst man stickstoffhaltige basische Verbindungen der Pflanzen, welche aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff, oder aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff bestehen. Im Wasser sind sie schwer oder nicht löslich, im Weingeist leichter löslich, der Mehrzahl nach sind sie sehr giftig und haben einen bittern Geschmack.

Mit Gerbsäure (Tannin) gehen die meisten derselben unlösliche Verbindungen ein, weshalb Tannin als Gegenmittel bei Vergiftungen mit organischen Basen gebraucht wird. In kleinen Dosen sind viele derselben sehr geschätzte Heilmittel. Einige solcher Basen sind:

Chinin, $C_{20}H_{24}N_2O_2$, Chinchonin etc. finden sich in der Chinarinde, mit H_2SO_4 verbunden dienen sie als Arzneimittel.

Morphin nebst Narcotin, Opianin etc. kommt vor im Opium und im Milchsafte der meisten Pflanzen aus der Familie der Papaveraceen. Mit Essigsäure verbunden wird Chinin in der Medizin benützt. — Strychnin in den Früchten des Strychnosbaumes, Atropin in den Tollkirschen, Aconitin im Sturmhut, Daturin im Samen des Stechapfels, Caffeïn in den Kaffeebohnen, Theïn im grünen und schwarzen Thee, Conin im Schierling, Nicotin in den Tabakblättern, Kreatin in den Muskeln der Wirbelthiere.

Aehnliche organische Basen sind auch künstlich dargestellt worden, z. B. Sinammin etc.

Zersetzungen organischer Verbindungen.

a) Destillations-Produkte.

Alle organischen Körper werden durch grössere Hitze zerstört, d. h. in ganz neue Verbindungen zersetzt.

Diese neuen Produkte sind nun nach Beschaffenheit des organischen Stoffes, nach dem Hitzegrade, nach der Art und Dauer des Processes etc. höchst verschieden. Als Gemeinsames für alle solche Vorgänge könnte nur bezeichnet werden, dass in den meisten Fällen ein Theil des Kohlenstoffes, der in organischen Gebilden nie fehlt, mit unorganischen Stoffen (Asche) gemengt zurückbleibt. Ist die Höhe des Hitzegrades, verbunden mit stets wechselndem Luftzug, entsprechend gross, so verbrennt der Körper vollständig, d. h. er zerfällt so weit als möglich in lauter gasförmige und flüchtige Verbindungen und nur unorganische Asche bleibt als Rückstand.

Bei der trockenen Destillation, welche ohne Luftzutritt stattfindet, sind die Zersetzungsprodukte so mannigfaltig und

wechselnd, dass sich kein genaues Bild des Vorganges fixiren lässt. Stoffe, die aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen, gehen unter Ausscheidung von Kohlenstoff in wasserstoffreichere Verbindungen über. Ist im Körper auch Sauerstoff, so wird dieser zum grössten Theile an C und H treten und H_2O, CO und CO_2 bilden, welche entweichen. In den meisten Fällen bildet sich Leuchtgas nebst einer Menge anderer auch aus C und H zusammengesetzter Verbindungen, die theils gasförmig, theils flüchtig und condensirbar sind. Ist auch Stickstoff vorhanden, so bildet ein grosser Theil desselben Cy, NH_3 und Verbindungen derselben etc., bei Gegenwart von S und P bilden sich HS, CS_2, H_3PO_4 etc. Je mehr die trockene Destillation vorschreitet, desto geringer wird die Bildung der flüchtigern und gasförmigen Verbindungen und desto häufiger die Bildung schwer zu verflüchtigender Kohlenwasserstoffe, bis endlich allmälig der ganze Vorgang mit einem fast nur Kohlenstoff enthaltenden Rückstande abschliesst.

Im Allgemeinen liessen sich also die Produkte der Destillation in die drei Abtheilungen bringen:

1. Kohle, Koaks, Holzkohle, thierische und Knochenkohle etc.

2. Gase, Leuchtgas, Grubengas, CO_2, NH_3, CO, HS etc.

3. Condensirbare flüssige und feste Stoffe. Diese sammeln sich theils gelöst im sogenannten Theerwasser, theils in einem zähflüssigen, übelriechenden dunkeln Gemenge, dem Theer. Im Theerwasser (bei Holzdestillation) findet sich Kreosot, eine erstickend rauchähnlich riechende Flüssigkeit, welche eine stark conservirende Kraft hat (Räucherung des Fleisches etc.). Im Steinkohlentheer: Naphtalin, das durch eine grosse Anzahl von Zersetzungsprodukten höchst interessant ist; Paraffin, das aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammengesetzt, dem äussern Ansehen nach der Stearinsäure und dem Wachse ähnlich, ein vortreffliches Material zur Kerzenfabrikation abgibt; Anilin, aus welchem in neuester Zeit sehr brillante Farben künstlich dargestellt werden. Ferner Harze, Pech etc.

b) Fäulniss und Verwesung.

In lebenden Organismen unterliegen die Stoffe zwar zahlreichen chemischen Processen, doch sind diese durch die Lebens-

kraft bedingt; hört aber das Leben auf, so zerfallen sie in einfachere meist gasförmige Verbindungen, sie verfaulen oder verwesen. Die Bedingungen zu dieser Zersetzung sind: Feuchtigkeit, Contact mit Sauerstoff, wenigstens bei Beginn der Zersetzung, eine Temperatur zwischen circa 5 bis 100° C. und, wenn der organische Körper selbst nicht Stickstoff enthält, Berührung mit einem bereits faulenden Körper. Diese Bedingungen fehlen den abgestorbenen Organismen gewöhnlich nicht. Die pflanzlichen Organismen bestehen hauptsächlich aus *C, H, O*, so wie die Cellulose. Die Fäulniss und Verwesung der Pflanzen geht daher fast ganz den gleichen Gang, wie die der Pflanzenfaser. Bei den thierischen Organismen hat ausser *C, H, O* fast immer auch *N* den wichtigsten Antheil (nebst *S, P* etc.). Die Fäulniss solcher stickstoffhaltiger Körper tritt noch viel leichter ein, geht schneller vor sich, gibt gewöhnlich sehr übelriechende gasförmige Zersetzungsprodukte, da sie ausser HO, CO_2, C_2H_4 etc. noch NH_3, HS, PH_3 etc. enthalten. Das Endergebniss der Fäulniss und Verwesung ist sowohl bei pflanzlichen als thierischen Stoffen zunächst Humus und zuletzt Asche = Staub unorganischer Verbindungen.

Um organische Körper vor Fäulniss zu bewahren, entzieht man ihnen vor Allem die Bedingungen zur Fäulniss, d. h. man bewahrt sie vor Berührung mit faulenden Stoffen, entzieht ihnen das Wasser (Trocknen und Dörren der Früchte, Conserviren mit Weingeist), kühlt sie bedeutend ab (Fleisch etc. in Eiskellern), bewahrt sie vor Berührung mit atmosphärischer Luft (Appert's Verfahren), imprägnirt sie mit fäulnisswidrigen Stoffen: Einsieden der Früchte mit Zucker, Einsalzen des Fleisches, Räuchern (Kreosot) des Fleisches, Gurken in starkem Essig, Sauerkraut etc. durch Milchsäure; Conserviren anatomischer Präparate mit Sublimat, Zinkchlorid, arsenige Säure etc., Holz für Unterbau durch Anstreichen mit Theer oder Imprägniren mit Kochsalzlösung oder Kupfervitriollösung, durch Verkohlung der Oberfläche etc.

c) Gährung.

Im Allgemeinen versteht man unter Gährung jenen Vorgang, bei welchem ein Körper angeregt durch einen in Zersetzung begriffenen andern Körper (Ferment) seine Atome so neu grup-

pirt, dass gasförmige Körper entweichen und ein neuer Körper zurückbleibt. Der oben erwähnten geistigen Gährung wäre noch beizufügen, dass das Ferment oder die Hefe eine niedere Pflanzengattung ist, welche während des Gährungsprocesses wächst und sich entwickelt, ohne aber am chemischen Process der Gährung direkt Antheil zu nehmen, ferner dass die Gährung bei 7 bis 9° C. langsam (Untergährung), bei 12 bis 25° viel rascher (Obergährung) vor sich geht.

Ausser der geistigen Gährung gibt es noch eine Milchsäuregährung, z. B. in Zuckerlösungen bei circa 30° C. durch faulenden Käse bewirkt, im Kleister etc.; Buttersäuregährung tritt als Fortsetzung der vorigen auf, wenn die Temperatur über 30° hinausgeht; Schleimgährung etc. Die Essigbildung aus Alkohol kann nur uneigentlich zu den Gährungen gerechnet werden, da sie vielmehr als langsame Oxydation zu betrachten ist. Mehrere der genannten Gährungsarten treten beim Zubereiten des Hausbrodes auf. Ein Theil des Mehles geht unter Einfluss von Cerealin in Zucker über, dieser wird durch das zugesetzte Ferment (Hefe, Sauerteig) zur geistigen Gährung angeregt. Die gebildete Kohlensäure sucht zu entweichen, bläht dabei die klebrige Teigmasse auf, so dass diese bedeutend aufgelockert und dadurch leichter verdaulich gemacht wird. Durch den Sauerteig wird gewöhnlich auch Milchsäure, Essigsäure etc. theils dem Brode schon fertig mitgetheilt, theils in demselben erzeugt.

§. 18. **Besondere chemische Verhältnisse.** 1) Isomorphie. Bekanntlich ist jeder grosse Krystall eine Anhäufung von kleinen Krystallen, die wieder aus noch kleinern zusammengesetzt sind; die Gestalt der kleinsten Theilchen, so wie die Art und Weise ihrer Gruppirung bestimmen die Form des Krystalls, die zum Vorschein kommt. Da aber die Gestalt der kleinsten Theilchen von ihrer chemischen Zusammensetzung abhängt, so wäre zu untersuchen, in welcher Beziehung die Form des Krystalls zu seiner chemischen Zusammensetzung steht.

Wenn wir im Wasser Kochsalz und Salpeter auflösen, und hierauf das Auflösungsmittel an einem warmen Ofen langsam verdunsten lassen, so scheiden sich beide Salze in Form von Krystallen ab, aber in der Art, dass man die Würfeln des Kochsalzes deutlich von den langen Säulen des Salpeters unterscheidet.

Untersucht man die Krystalle, nachdem man sie mit reinem Wasser abgewaschen hat, so findet man in den Kochsalzkrystallen keine Spur von Salpeter und in den Salpeterkrystallen keine Spur von Kochsalz; hieraus folgt, dass nur die gleichartigen Theilchen anziehend auf einander wirkten und zu Krystallen sich vereinigten.

Wenn wir jedoch Bittersalz, Zinkvitriol und Nickelvitriol in Wasser auflösen und dann die Auflösung abdampfen, so findet man, dass jeder entstandene Krystall alle drei Salze in dem nämlichen Verhältnisse gemengt enthält, in welchem sie in der Auflösung vorkommen. Die beim Zusammenkrystallisiren dieser Salze gebildete Krystallgestalt ist die nämliche, die jedem Bestandtheil eigenthümlich ist.

Beachtet man die Krystallgestalten, so findet man, dass diese bei denjenigen Salzen, die zusammen aus einer Flüssigkeit herauskrystallisiren, einander vollkommen gleich sind, so dass kein Unterschied in den Winkeln, Ecken und Kanten bemerkbar ist; dagegen sind die Gestalten derjenigen Krystalle, die gesondert aus einer Flüssigkeit krystallisiren, von einander stark abweichend. Da nun ein grosser Krystall nur eine Anhäufung von kleinen Krystallchen ist, so kann man schliessen, dass auch die kleinsten Nickelvitriolkrystallchen dieselbe Gestalt haben, wie die kleinsten Bittersalz- oder Zinkvitriolkrystalle, dass demnach auch die Gruppen von einfachen Atomen, die ein Bittersalz- oder ein Zinkvitriol- oder Nickelvitriol-Atom bilden, einerlei Gestalt besitzen.

Die Gleichheit der Krystallgestalten ist eine Bedingung des Zusammenkrystallisirens der Stoffe ohne Aenderung ihrer Krystallgestalt, allein es ist auch dieselbe Zusammensetzung dazu erforderlich; denn Alaun und Salmiak haben dieselbe Krystallgestalt, und dennoch sondern sie sich ab, wenn sie aus einer und derselben Flüssigkeit herauskrystallisiren; eine Vergleichung ihrer chemischen Zusammensetzung macht ersichtlich, dass diese ganz unähnlich, dagegen die der früher besprochenen Salze, welche gemischte Krystalle von der Form der Bestandtheile bilden, ganz ähnlich ist, indem hier in jedem Molecül dieselbe Anzahl von Atomen erscheint, und sie nur dadurch sich unterscheiden, dass das Magnesium-Atom des Bittersalzes

in den andern Salzen durch ein Atom Zink oder Nickel vertreten ist.

Der Thonerde-Alaun krystallisirt in farblosen regelmässigen Octaëdern; nun lehren die Untersuchungen, dass die Thonerde ohne die mindeste Aenderung der Krystallgestalt durch Eisenoxyd oder durch Chromoxyd oder auch durch Manganoxyd ersetzt werden kann; man erhält dann einen farblosen Eisen-Alaun, oder einen dunkelgrünen Chrom-Alaun, oder einen violetten Mangan-Alaun. Bringt man einen Krystall von Chrom-Alaun in eine gesättigte Auflösung von gewöhnlichem Thonerde-Alaun, so vergrössert er sich beim Abdampfen des Wassers, indem sich an seine Flächen die Theilchen des Thonerde-Alauns so anlegen, als wenn sie Theilchen von Chrom-Alaun wären. Man erhält, wenn man den Krystall von Zeit zu Zeit auf andere Flächen legt, ein regelmässiges Octaëder von farblosem Thonerde-Alaun, in dessen Mitte ein dunkelgrünes Octaëder von Chrom-Alaun ist. — Die Schwefelsäure im Alaun kann durch Chromsäure oder durch Selensäure, das Kali durch Ammonium-Oxyd ersetzt werden, ohne die Krystallform zu ändern.

Die Körper, welche in derselben Gestalt krystallisiren, und einander in einem Krystalle in allen möglichen Verhältnissen ohne Aenderung der Krystallgestalt ersetzen können, nennt man isomorphe Körper, und die Eigenschaft der Körper, ohne Aenderung der Krystallform aus einer Auflösung zusammenzukrystallisiren, heisst Isomorphie.

Es gibt Fälle, wo Form und Zusammensetzung verschieden sind, und die Stoffe dennoch aus einer Flüssigkeit, in der sie gelöst sind, zusammenkrystallisiren, wie z. B. Zinkvitriol und Kupfervitriol; allein in diesen Fällen hat der gemischte Krystall immer die Gestalt desjenigen Stoffes, der in grösserer Menge in der Auflösung vorhanden ist; der andere Stoff verhält sich wie ein beigemengter indifferenter Stoff, wie z. B. Sand oder Staub.

Genauere Messungen der Krystalle haben später gelehrt, dass in den Formen der ähnlichen Verbindungen isomorpher Körper kleine Abweichungen vorkommen; die atomistische Ansicht gibt darüber eine genügende Erklärung. Wenn nämlich ein Stoff einen andern in einer Verbindung ohne Aenderung der Krystallgestalt ersetzen soll, so muss ein Atom von ihm genau die Stelle eines Atoms des andern Stoffes ausfüllen, was nur möglich ist, wenn beide sich ersetzende Atome gleich gestaltet und gleich gross sind; wäre das Volumen des isomorphen Atoms grösser oder kleiner als das, welches zu ver-

treten ist, so müsste dies sogleich in der gegenseitigen Neigung der Kanten des Krystalls zu seiner Axe zu erkennen sein.

Die Entdeckung der Isomorphie war für die Chemie sehr wichtig, weil es dadurch erst möglich geworden ist, die Zusammensetzungsweise und somit auch das Moleculargewicht vieler Körper richtig und leicht zu ermitteln; denn da isomorphe Körper stets auf ähnliche Weise zusammengesetzt sind, so braucht man bei einem Körper, dessen Zusammensetzungsformel sich sehr schwer ermitteln lässt, oder gänzlich unbekannt ist, nur zu sehen, mit welchen Körpern von bekannter Zusammensetzung er isomorph ist. So z. B. kennt man nur eine einzige Oxydationsstufe des Aluminiums, nämlich die Thonerde; da die Thonerde als Saphir in Rhomboëdern krystallisirt, die genau so gestaltet sind, wie die Krystalle des Eisenoxyds im Eisenglanz und wie die des Chromoxyds, da ferner die Thonerde mit diesen genannten Oxyden **isomorph** ist, so muss sie eine ähnliche Zusammensetzung besitzen, und wird somit durch die Formel Al_2O_3 ausgedrückt.

2) **Amorphie und Dimorphie.** Die Erscheinungen der Isomorphie bezeugen einen gewissen Zusammenhang zwischen der chemischen Beschaffenheit der Körper und ihrer Krystallform; allein man würde irren, wenn man meinen sollte, dass einer bestimmten chemischen Zusammensetzung immer die nämliche Krystallform, oder der nämlichen Krystallform dieselbe Zusammensetzung entspreche.

Es gibt Stoffe, die beim Uebergange aus dem flüssigen Zustande in den starren keine Krystallformen annehmen. Man nennt solche Körper **amorphe** oder **gestaltlose**, wie z. B. Glas, Gummi, die meisten Harze, Leim. Diese Körper erscheinen vor dem Erstarren zähflüssig, lassen sich in Fäden ziehen und werden beim Festwerden meistens durchsichtig. — Andere Körper erscheinen beim Festwerden in manchen Fällen amorph, in andern als Krystalle.

Manche Körper krystallisiren in zweierlei einander ganz unähnlichen Gestalten, die zwei verschiedenen von einander nicht ableitbaren Grundgestalten angehören. Solche Körper heissen **dimorph**, und ihre Fähigkeit, in zwei verschiedenen Gestalten zu krystallisiren, heisst **Dimorphie**. Ein Körper, der in mehr als zwei verschiedenen unvereinbaren Grundformen krystallisirt, heisst **polymorph**. Enthält ein Stoff eine andere Krystallgestalt,

so ändern sich auch seine physikalischen Eigenschaften, was auch jedes Mal geschieht, so oft ein Körper aus dem amorphen Zustande in den krystallinischen übergeht.

Kohlenstoff erscheint amorph als Russ, als Diamant krystallisirt im tessularen Systeme, dessen Grundform ein Würfel ist, als Graphit im rhomboëdrischen Systeme.

Der kohlensaure Kalk ist dimorph, er erscheint als Kalkspath (Doppelspath) und als Arragonit; ersterer ist rhomboëdrisch, der andere prismatisch. Wird der kohlensaure Kalk aus seiner Lösung bei der gewöhnlichen Temperatur niedergeschlagen, so erscheint er als Kalkspath, dagegen in Form des Arragonits, wenn dies bei der Temperatur des siedenden Wassers geschieht.

3) Isomerie. Die Eigenschaften einer chemischen Verbindung sind abhängig:

a) von der Beschaffenheit der in ihr vorkommenden Grundstoffe, also von der qualitativen Zusammensetzung;

b) von dem Moleculargewichte der Grundstoffe oder von der quantitativen Zusammensetzung; aber auch

c) von der Art der Gruppirung der Elemente in den nähern und in den entferntern Bestandtheilen; denn es gibt z. B. Kohlenstoffverbindungen, welche bei ganz gleicher procentiger Zusammensetzung dennoch verschiedenartige Substanzen sind, die in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften von einander abweichen. Körper von dieser Art nennt man isomere, und ein solches Verhalten der Körper heisst Isomerie. Man unterscheidet mehrere Modificationen der Isomerie.

4) Die Allotropie. Schon das bisher Gesagte macht ersichtlich, dass die Eigenschaften einer chemischen Verbindung nicht nur von der qualitativen und quantitativen Beschaffenheit der Bestandtheile, sondern auch von der Lagerungsweise ihrer kleinsten Theilchen abhängig sind.

Wird eine weiche Eisenstange eine längere Zeit hindurch schwachen, aber sich stets wiederholenden Hammerschlägen ausgesetzt, so kann durch diese Bewegung offenbar nichts Anderes bewirkt werden, als eine andere Lagerung der kleinsten Theichen; in der That findet man die Stange krystallinisch, und in Folge dieses neuen Zustandes wird sie brüchig wie Gusseisen, und der Bruch ist nicht mehr wie beim weichen Eisen fadenförmig, sondern glatt und glänzend. — Beim Härten des Stahles wird eine Veränderung in den Eigenschaften desselben einzig durch eine mittelst

plötzlicher Abkühlung bewirkte Aenderung in der Lagerung der kleinsten Theilchen erzeugt. — Wie eine geringe durch mechanische Kräfte (z. B. durch schwache Reibung, Stoss, blosse Berührung mit einer Feder) bewirkte Veränderung in der Lagerung der Theilchen eine Zersetzung mancher Körper und eine neue Gruppirung der Elemente veranlassen kann, bezeugt das knallsaure Silberoxyd und mehrere andere Verbindungen des Stickstoffs, die sehr gefährlich sind.

Die Wärme, die doch nur eine Veränderung in der Lage der kleinsten Theilchen bewirkt, erzeugt auffallende Veränderungen in den Eigenschaften der Körper. Wenn z. B. das Kochsalz aus einer Auflösung in Wasser bei grosser Kälte im Winter sich ausscheidet, so bildet es grosse wasserhelle Säulen, welche über 38 Procent chemisch gebundenes Wasser enthalten; die bei der gewöhnlichen Temperatur gebildeten würfeligen Kochsalzkrystalle sind wasserfrei. Berührt man die wasserhellen Säulen mit der Hand, so erscheinen sie allsogleich milchweiss und undurchsichtig; auf die Hand genommen, zerfallen sie in einen Brei von kleinen würfelförmigen wasserfreien Kochsalzkrystallen. Hieraus ist zu ersehen, dass bei niederer Temperatur das Wasser zu den Kochsalztheilchen eine Anziehung äussert, die schon beim Gefrierpunkte nicht mehr vorhanden ist; man sieht ferner, dass durch den bei geringer Erwärmung bewirkten Austritt des Wassers die Salztheilchen sogleich auf eine andere Weise sich gruppiren, indem Krystalle von einer andern Form und mit andern physikalischen Eigenschaften zum Vorschein kommen.

Der Einfluss der Wärme auf die Lagerungsweise der kleinsten Theilchen zeigt sich recht auffallend bei einem Aragonitkrystalle, den man zum schwachen Glühen bringt, also einem höheren Wärmegrade aussetzt, als derjenige war, bei dem er entstanden ist; der Krystall bläht sich, ohne die mindeste Veränderung in seinem Gewichte zu erfahren, in Folge einer in seiner ganzen Masse bewirkten Bewegung der Theilchen auf und verwandelt sich in einen Haufen von kleinen rhomboëdrischen Kalkspathkrystallen.

Ein anderes Beispiel bietet uns das Eiweiss (Albumin) im Hühnerei dar; dieses ist im Wasser in jedem Verhältnisse löslich und wasserhell; sobald es aber bis 75° R. erhitzt wird, verliert es

die Löslichkeit und Durchsichtigkeit, indem es in eine weisse Masse übergeht, deren Theilchen alle Beweglichkeit verloren haben, und die nun gegen die Wärme einen Widerstand äussert, welcher dem Eiweisse ursprünglich fehlte. Diese Veränderung der Eigenschaften des Eiweisses ist vor sich gegangen, ohne dass etwas Materielles hinzugekommen ist, oder sich davon abgeschieden hat.

Da die Wärme in dem letzten, so wie in dem früheren Falle nichts weiter als eine Bewegung und damit eine andere Lagerung der kleinsten Theilchen bewirken konnte, so folgt, dass in der That durch eine Abänderung in der Lagerungsweise der kleinsten Theilchen eines Körpers, die offenbar mit einer Aenderung in der Aeusserung der Molecularkräfte verbunden ist, die Eigenschaften desselben abgeändert werden.

Die Wärme übt wohl in vielen Fällen auch einen direkten Einfluss auf die chemische Anziehung der ungleichartigen Stoffe aus, indem sie dieselbe bald steigert, bald schwächt, und dadurch eine andere Gruppirung der Theilchen veranlasst. Hierbei kommt es auf den Grad der Wärme an; bei einer niedern Temperatur ist die Anziehung der Theilchen eine andere als bei einer höhern, weshalb auch die bei niedern Temperaturen entstandenen Verbindungen sich öfter als ganz andere Körper charakterisiren, als die aus denselben Grundstoffen, aber bei höhern Wärmegraden gebildeten. Die Erfahrung lehrt, dass bei sehr niedrigen Temperaturen von — 80° C. selbst solche Stoffe, die sonst kräftig auf einander chemisch einwirken, gegen einander indifferent bleiben, wie z. B. Chlor und Antimon, die bei gewöhnlicher Temperatur unter einer Feuererscheinung sich verbinden.

Wegen der Eigenschaft des Eiweisses, in der Wärme zu gerinnen, benutzt man Eiweiss und Blut, worin auch Eiweiss enthalten ist, zum Klären der Flüssigkeiten, z. B. in Zuckersiedereien und in der Kochkunst, indem bei diesem Gerinnen alle in Suspension befindliche fremde Materien aufgenommen werden. — Mit Kalk erhärtet das Eiweiss, weshalb dieses Gemenge als Kitt gebraucht wird, wobei aber auch Blut verwendet werden kann.

Ein merkwürdiges Beispiel bietet der Sauerstoff dar. Schönbein fand, dass ein Theil des Sauerstoffes in der Luft durch Electricität in einen Zustand versetzt wird, in welchem er einen eigenthümlichen Geruch und eine erhöhte Fähigkeit besitzt, mit andern Grundstoffen chemische Verbindungen einzugehen; dieser so modificirte Sauerstoff heisst Ozon $= O_3$ oder ozonisirter Sauerstoff.

5) **Auflösung einiger Aufgaben.** Die Kenntniss der Atomgewichte (Aequivalente) macht es uns möglich zu berechnen, wie viel von einem Stoffe erforderlich ist, um mit einer gegebenen Menge eines andern Stoffes eine chemische Verbindung einzugehen. Kennt man die Zusammensetzungsformel eines Körpers, so kann man leicht finden, wie viel von jedem Bestandtheile in einer gegebenen Menge dieses zusammengesetzten Körpers enthalten ist, oder wie viel man von jedem Bestandtheile braucht, um eine gewisse Quantität von diesem Körper darzustellen. Die Zusammensetzungsformeln machen auch die Vertretungen, die Umwandlungen und Zersetzungen der chemischen Verbindungen recht anschaulich und leicht verständlich.

1. Nach **Liebig** verzehrt ein erwachsener Mann bei mässiger Bewegung täglich 27·8 Loth Kohlenstoff, der in Form von kohlensaurem Gas aus dem Körper heraustritt; es frägt sich, wie viel Sauerstoff muss der Mensch einathmen, um diese Umwandlung des Kohlenstoffes zu bewirken?

Da zur Verwandlung von 12 Loth C in CO_2 32 Loth O erforderlich sind, und mit der Menge von C die Menge von O im gleichen Verhältnisse wächst, so ist

$$12 : 27{\cdot}8 = 32 : x \text{ und } x\ 74{\cdot}1 \text{ Loth.}$$

2. Nach **Valentin** athmet ein Mann in der Stunde 38·766 Gramme Kohlensäure aus; wie viel Gramme Kohlenstoff und Sauerstoff sind darin enthalten?

Da in 22 Gewichtstheilen CO_2 6 Gew. C und 16 Gew. O vorkommen, so hat man, wenn das unbekannte Gewicht von C mit x und das von O mit y bezeichnet wird:

$$6 : x = 22 : 38{\cdot}766, \text{ daher } x = 10{\cdot}573$$

$$16 ; y = 22 : 38{\cdot}766, \text{ daher } y = 28{\cdot}193 \text{ Gramme.}$$

3. Wie viel Schwefelsäure ist erforderlich, um 100 Loth Kalk in Gyps zu verwandeln?

Es sei x die gesuchte Menge der Schwefelsäure; die Zusammensetzungsformel des krystallisirten schwefelsauren Kalkes ist $CaO,SO_3 + 2H_2O$; das Aequivalent von Kalk ist $20 + 8 = 28$, das der Schwefelsäure $= 40$; da nun mit 28 Gew. Kalk 40 Gew. SO_3 sich verbinden, so ist

$$28 : 100 = 40 : x, \text{ und } x = 142{\cdot}86 \text{ Loth.}$$

4. Wie viel Kali ist in 100 Gran einer Kalilauge enthalten, wenn man 41·5 Gran englischer Schwefelsäure $(SO_3 + H_2O)$ braucht, um die Lauge in den Zustand zu bringen, wo sie weder sauer noch alkalisch reagirt, d. h. weder blaues Lackmuspapier roth, noch gelbes Curcumapapier braun färbt?

Da 49 Gewichtsth. engliche Schwefelsäure die charakteristischen Eigenschaften von 47·2 Kali vollkommen aufheben, so ist, wenn x die gesuchte Menge von Kali in 100 Gran Lauge bedeutet:

$$47{\cdot}2 : x = 49 : 41{\cdot}5 \text{ und } x = 40 \text{ Gran;}$$

also enthält diese Lauge 40 Procent Kali.

Zweiter Abschnitt.

Vom Gleichgewichte der Körper im Allgemeinen.

§. 1. **Begriff und Eintheilung der Mechanik.** Die Wirkung der Kräfte ist entweder Bewegung oder Gleichgewicht desjenigen Körpers, auf den sie einwirken. Die Lehre von den Wirkungen der Kräfte, Mechanik genannt, zerfällt daher in zwei Haupttheile: 1. in die Lehre vom Gleichgewichte der Kräfte, Statik, 2. in die Lehre von der Bewegung, Dynamik.

Der Zweck der Statik ist, die Gesetze anzugeben, unter welchen die einen Körper bewegenden Kräfte sich das Gleichgewicht halten.

§. 2. **Bestimmungsstücke einer Kraft.** Jede bewegende Kraft sucht den materiellen Punkt, auf den sie einwirkt, nach einer bestimmten Richtung und mit einer bestimmten Stärke in Bewegung zu setzen. Man unterscheidet daher drei Bestimmungsstücke: 1. den Angriffspunkt, 2. die Richtung, 3. die Stärke der bewegenden Kraft.

§. 3. **Messen der Kräfte.** Die Grösse und Stärke der Kraft wird nach der hervorgebrachten Wirkung beurtheilt. Die Wirkung aber ist entweder Bewegung oder Gleichgewicht; die Stärke der Kraft kann demnach dynamisch oder statisch gemessen werden. In der Statik lernen wir das statische Messen. Zum Messen wählt man die Stärke einer bestimmten Kraft als Einheit, und untersucht, wie viele solche Einheiten oder Bruchtheile derselben an einem frei beweglichen Körper angebracht werden müssen, damit sie der in gerade entgegengesetzter Richtung wirkenden zu messenden Kraft das Gleichgewicht halten. Die Anzahl der dazu verwendeten Einheiten ist das Maass jener Kraft.

Aufgabe. Eine unbekannte Kraft x zieht an einem Stricke vertical aufwärts; es tritt Gleichgewicht ein, wenn man 80 Pfund am Stricke anhängt. Wie gross ist x und wie gross ist die Spannung des Strickes?

Zur leichtern Uebersicht können die gemessenen Kräfte durch Linien vorgestellt werden, die so viele Längen-

einheiten haben als die Kraft Krafteinheiten enthält. Man sieht den Anfangspunkt einer Linie als den Angriffspunkt, die Lage als die Richtung und die Länge als die Stärke der Kraft an. So übersieht man mit einem Blicke die Bestimmungsstücke der Kräfte.

§. 4. **Aequivalente Kräfte.** Werden einzelne oder auch mehrere einen Körper angreifende Kräfte derart durch andere Kräfte ersetzt, dass die Wirkung ungeändert bleibt, so sagt man, die substituirten Kräfte seien den ursprünglichen äquivalent.

§. 5. **Resultirende Kraft und Componenten.** Jene einzelne Kraft, welche mehreren auf einen Körper wirkenden Kräften aequivalent ist, heisst die Resultirende jener Kräfte, die man auch Componenten zu nennen gewohnt ist.

§. 6. **Leistung oder Arbeitsgrösse einer Kraft.** Als Einheit der Leistung oder Arbeit einer Kraft wird jene Arbeit angenommen, welche nöthig ist, um ein Pfund einen Fuss hoch zu heben, und diese Einheit heisst Fusspfund. Eine Kraft, die $2, 3 \ldots n$ Pfund einen Fuss weit bewegt, gibt also eine Leistung $= 2, 3 \ldots n$ Fusspfund; bewegt sie aber n Pfund $2, 3 \ldots m$ Fuss weit, so ist ihre Leistung $= 2n, 3n \ldots mn$ Fusspfund, d. h. die Leistung oder Arbeitsgrösse einer Kraft wird gefunden, wenn man den in Fussen angegebenen Weg mit der in Pfunden ausgedrückten Kraft multiplicirt. Die Benennung des Produktes ist Fusspfund.

Drückt man die Leistung im Allgemeinen aus, ohne diese Einheit ausdrücklich zu Grunde zu legen, so kann man sagen: die Arbeitsgrösse einer Kraft wird durch das Produkt aus der Last oder, was gleichviel ist, aus der Kraft in den zurückgelegten Weg ausgedrückt. Wird z. B. eine Last von 100 Pfund 4 Fuss weit gebracht, so ist die Arbeitsgrösse der dabei thätigen Kraft gleich 400 Fusspfund.

Im französischen Maassystem misst man die Last nach Kilogrammen, den Weg nach Metern, daher erhält man für die Arbeit ein Produkt, welches den Namen: Kilogramm-Meter führt. Die Arbeit von 1 Kilogramm-Meter ist gleich 5·65 Fusspfund.

Zur Vergleichung der Grösse der Arbeit einer Kraft mit der Arbeit einer andern wird aber auch die Zeit in Rechnung gebracht. Bezieht man daher die Arbeitsgrösse auf die Zeit einer Secunde, so nennt man sie auch Arbeitskraft oder besser Effect

per Secunde. Wenn ein Pferd eine Last von 100 Pfund in jeder Secunde 4 Fuss hoch hebt, so ist die Arbeitsgrösse des Pferdes in einer Secunde 100 × 4 = 400 Fusspfund. Man nimmt im Maschinenwesen die Pferdekraft mit 430 Fusspfund oder nach französischem Maasse 75 Kilogramm-Meter an und benützt sie als Arbeitseinheit bei der Berechnung der Leistung der Dampfmaschinen, Wasserräder etc.

Aufgaben. 1. Wie viel Kilogramm-Meter betragen 430 Fusspfund? 2. Wie viel Pferdekraft hat eine Dampfmaschine, wenn der Dampf mit 2 Atmosphären auf die Kolbenfläche von 1 Quadratdecimeter so wirkt, dass der Kolben bei Ueberwindung eines der Dampfkraft gleichen Druckes per Minute 30 Hin- und Hergänge von je 1 Meter Länge macht? — Eine Atmosphäre beträgt per 1 Quadratmeter 10,334 Kilogramm.

Gleichgewicht der Kräfte an Maschinen.

§. 7. **Begriff und Eintheilung der Maschinen.** Vorrichtungen, mittelst welcher bald eine Kraft auf einen ausserhalb ihrer Richtung liegenden Punkt wirksam gemacht, bald die Grösse der Kraft vortheilhaft abgeändert werden kann, pflegt man Maschinen zu nennen. Den Widerstand, den die Maschine zu überwinden strebt, nennt man Last, und die Kraft, durch welche diese überwunden wird, heisst man vorzugsweise Kraft. Soll die Kraft mit Hilfe einer Maschine der Last das Gleichgewicht halten, so muss sie zu derselben in einem bestimmten Verhältnisse stehen, welches man das statische Verhältniss der an dieser Maschine wirkenden Kräfte nennt. Zeigt sich hierbei die Kraft kleiner als die Last, so sagt man, es finde Ersparniss an Kraft statt. Eine Maschine, bei welcher keine Theile vorkommen, die für sich als Maschinen dienen könnten, nennt man einfach; zusammengesetzt werden hingegen jene Maschinen genannt, welche aus mehreren mit einander verbundenen einfachen Maschinen bestehen. Man unterscheidet ferner den mathematischen und den physischen Zustand der Maschine. Sieht man bei der Betrachtung der Maschine ab vom Gewichte ihrer Theile und von Bewegungshindernissen, so hat man eine blos in der Idee existirende oder mathematische Maschine.

Zu den einfachen Maschinen rechnet man gewöhnlich den Hebel, das Wellrad, die Rolle, die schiefe Ebene, die Schraube, den Keil und die Kniepresse; es gibt aber eigent-

lich nur zwei einfache Maschinen: Hebel und schiefe Ebene, denn es lassen sich alle andern auf diese beiden zurückführen.

§. 8. **Gleichgewicht der Kräfte am Hebel.** Ein Hebel ist eine unbiegsame gerade oder krumme Stange, welche zwei oder mehrere Kräfte um einen fixen Punkt, der ihr zur Stütze dient, im entgegengesetzten Sinne zu drehen streben. Die Richtungen der Kräfte müssen in einer Ebene liegen, in der die Bewegung des Hebels vor sich geht, wenn sie mit ihrer ganzen Grösse an seiner Bewegung Theil nehmen sollen. Den Punkt, um welchen sich der Hebel drehen lässt, heisst man den Drehungs- oder Unterstützungspunkt, und die Stücke des Hebels zwischen ihm und den Angriffspunkten der Kraft und der Last heissen Hebelarme. Befindet sich (Fig. 13) der Unterstützungspunkt C zwischen den Angriffspunkten A und B der Kraft und Last, so heisst der Hebel ein zweiarmiger, liegen aber (Fig. 14) beide Angriffspunkte auf einer Seite der Drehungsaxe, so heisst er einarmig. Bilden die beiden Hebelarme einen Winkel, so heisst er ein Winkelhebel, sonst aber ein gerader Hebel. Denken wir uns die Stange eines doppelarmigen Hebels AB schwerlos, so haben wir einen mathematischen Hebel vor uns, an dem nur Kraft und Last wirken.

Fig. 13.

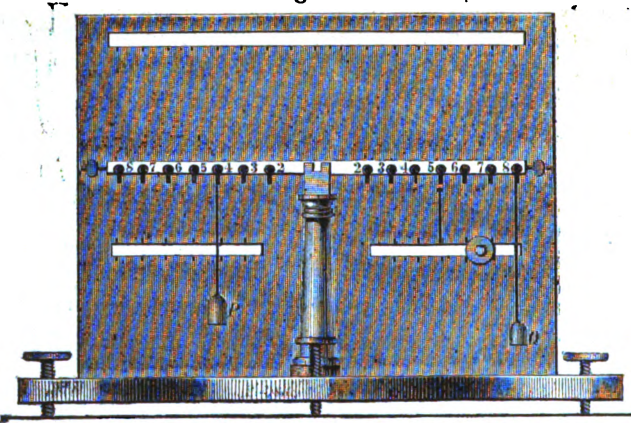
A C B P Q

Fig. 14.

P Q

Um das Verhältniss der Kräfte am Hebel im Zustande des Gleichgewichtes zu finden, stellt man an einem zweiarmigen Hebel (Fig. 15) Versuche an. Die am Stative um eine Axe drehbare Hebelstange ist in gleiche Theile getheilt. Links im Abstande 4 hängt das Gewicht P, z. B. $= 2$ Pfund; würde man das Gewicht Q rechts auf den Abstand 4 setzen, so müsste $Q = 2$ Pfund sein, um Gleichgewicht herzustellen. Wäre im Abstande 4 das Gewicht $Q > 2$ Pfund, so würde es eine Drehung des Hebel bewirken. Dasselbe geschieht, wenn $Q = 2$ Pfund weiter nach rechts rückt. Im Abstande 8 angelangt genügt $Q = 1$ Pfund, um Gleichgewicht zu halten. Diese Versuche lehren, dass die Wirkung W einer Kraft oder Last am Hebel nicht nur mit ihrer Grösse, sondern auch mit dem Abstande derselben vom Unterstützungs-Punkte in einem

Fig. 15.



geraden Verhältnisse wächst. — Hat man also an dem einen Hebelarm die Kraft P im Abstande A mit der drehenden Wirkung W, also

W, P, A, an dem andern aber

w, p, a,

so kann man nach obigem Versuche aus den drei Arten zusammengehöriger Grössen die Proportion bilden

$$W : w = \begin{cases} P : p \\ A : a \end{cases}$$

$$W : w = A\,P : a\,p.$$

Sollen die Wirkungen der beiden in entgegengesetzter Richtung drehenden Kräfte P und p einander aufheben und die Kräfte sich Gleichgewicht halten, so müssen die Wirkungen einander gleich sein, $W = w$; daher im Zustande des Gleichgewichtes

$$A \,.\, P = a \,.\, p \,\ldots\ldots (a)$$

oder

$$P : p = a : A \,\ldots\ldots (b).$$

Fig. 16

1. Und mit Rücksicht auf beistehende Fig. (16) folgt aus (b)

$$P : Q = CE : CD,$$

d. h. die Kräfte verhalten sich im Zustande des Gleichgewichtes Q zu einander, wie umgekehrt die Senkrechten, die vom

Unterstützungspunkte auf die Richtungen der Kräfte gefällt werden.

Auf die nämliche Art lässt sich beweisen, dass Kräfte, die sich an einem einarmigen Hebel das Gleichgewicht halten, in dem nämlichen Verhältnisse stehen, wie an einem doppelarmigen. Der Apparat (Fig. 15) hat oben einen schmalen Ausschnitt, in welchen sich eine Rolle einsetzen lässt, über die man ein Gewicht wie in Fig. 14 ziehen lassen und den Versuch für den einarmigen Hebel machen kann.

2. Aus der Proportion *(b)* folgt die Gleichung *(a)* oder mit Rücksicht auf die Fig. 16:

$$P \cdot CD = Q \cdot CE,$$

d. h. im Zustande des Gleichgewichtes sind die Produkte der Kräfte in die Abstände ihrer Richtungen vom Unterstützungspunkte einander gleich. — Ein solches Produkt nennt man wegen des Bestrebens der Kraft, den Hebel um C zu drehen, auch Drehungsmoment. Man kann daher die Bedingung des Gleichgewichtes auch mit folgenden Worten aussprechen: Am Hebel herrscht Gleichgewicht, wenn die Drehungsmomente gleich sind.

Anstatt des Ausdruckes Drehungsmoment, welches sich auf den Zustand des Gleichgewichtes bezieht, ist auch die Benennung statisches Moment eingeführt worden.

Aufgabe. An einem Balken, welcher in seinem Schwerpunkte auf einer kantigen Unterlage ruht, schaukeln ein Mann im Gewichte von 2 Zentnern und ein Knabe im Gewichte von 40 Pfund; der Knabe sitzt in der Entfernung von 10 Fuss, in welcher Entfernung muss der Mann Platz nehmen?

3. Aequivalente Momente. Ein jedes Moment als Produkt einer Kraft in den Abstand ihrer Richtung von jenem Punkte, auf den sich das Moment bezieht, kann auch durch eine von der ersten verschiedene Kraft hervorgebracht werden, die in einem andern gegebenen Abstande wirken soll. Bezeichnen wir die Abstände CD und CE mit p und q, so haben wir

$$P \cdot p = Q \cdot q, \text{ und setzen}$$
$$P \cdot p = X \cdot r,$$

wo die neu einzuführende Kraft X bei bekanntem Abstande r als die einzige Unbekannte sich leicht berechnen lässt. Alsdann erhalten wir aber zwei äquivalente Momente:

$$Q \cdot q = X \cdot r.$$

Man könnte diese Momente auch schlechtweg gleich, aber die Kraft X äquivalent zu Q nennen.

4. **Zusammensetzung der Drehungsmomente.** Wirken an einem Hebel ACB (Fig. 17) mehrere Kräfte, wovon die an einem Hebelarme wirkenden P, P_1, P_2 . . . den Hebel in einem, die am andern thätigen Q, Q_1, Q_2 . . . im entgegengesetzten Sinne zu drehen streben, und liegen ihre Richtungen in derselben Ebene, so können wir ihre einzelnen Drehungsmomente durch äquivalente ersetzen, wie

Fig. 17.

$$Pp = Xr \qquad Qq = Yr^1$$
$$P_1p_1 = X_1r \qquad Q_1q_1 = Y_1r^1$$
$$P_2p_2 = X_2r \qquad Q_2q_2 = Y_2r^1, \text{ und summirt}$$
$$\ldots\ldots\ldots \qquad \ldots\ldots\ldots$$
$$\Sigma\,(Pp) = r\,\Sigma\,(X) \qquad \Sigma\,(Qq) = r^1\,\Sigma\,(Y).$$

Nun ist aber die Summe $\Sigma\,(X)$ = einer Kraft U, die $\Sigma\,(Y)$ = V, also erhalten wir

$$\Sigma\,(Pp) = Ur \text{ und } \Sigma\,(Qq) = Vr^1,$$

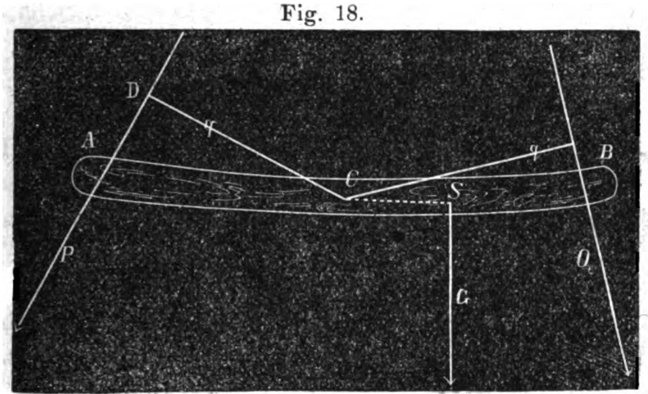
d. h. wir haben die in dem einen Sinne wirkenden Kräfte ersetzt durch die Kraft U, die im entgegengesetzten durch V; haben also zwei drehende Kräfte, von welchen wir schon wissen, dass sie sich nur dann das Gleichgewicht halten, wenn ihre Momente gleic sind, daher ist

$$Ur = Vr^1 \text{ oder}$$
$$\Sigma\,(Pp) = \Sigma\,(Qq) \ldots (c),$$

d. h. mehrere drehende Kräfte halten sich das Gleichgewicht, wenn die Summe der statischen Momente der in dem einen Sinne drehenden Kräfte gleich ist der Summe der statischen Momente der im entgegengesetzten Sinne drehenden Kräfte.

5. Der physische Hebel (Fig. 18). Da schon an dem unbelasteten physischen Hebel sein Gewicht G wirkt, welches seinen Angriffspunkt im Schwerpunkte S hat, so sieht man, dass der physische Hebel als ein mathematischer betrachtet werden kann, wenn man in seinem Schwerpunkte eine Kraft annimmt, die dem Gewichte des Hebels gleich ist und vertical abwärts wirkt. An dem

Fig. 18.



physischen Hebel AB wird Gleichgewicht bestehen, wenn die Bedingung *c)* erfüllt ist, nämlich

$$P \cdot p = Qq + G \cdot CS.$$

Aufgabe. Obiges Beispiel vom Balken, wenn der Schwerpunkt um $\frac{1}{3}$ Fuss über der Kante an der Seite des Knaben liegt und der Balken zwei Zentner wiegt?

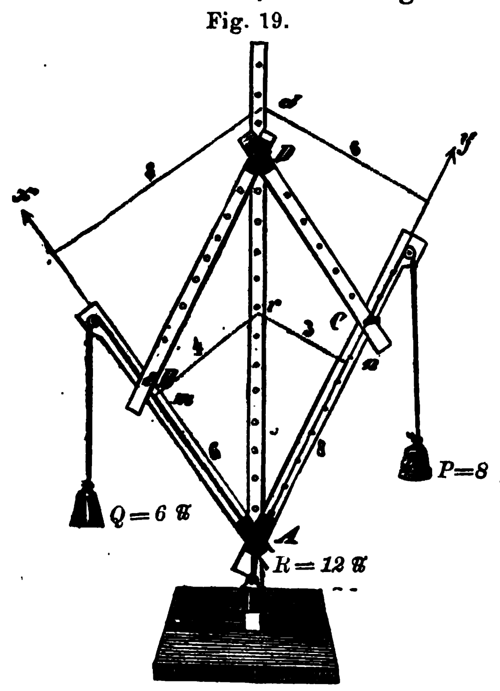
Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte.

§. 9. Kräfte, die auf einen und denselben Punkt wirken. Wirken auf einen völlig freien Punkt, z. B. auf eine Kugel, Kräfte, die einander nicht das Gleichgewicht halten, so erfolgt eine Bewegung in bestimmter Richtung und mit bestimmter Stärke. Jene Kraft, welche sämmtliche mit einander wirkende Kräfte in ihrer Wirkung zu ersetzen vermag, heisst die Resultirende. Aus gegebenen Kräften oder Componenten die Resultirende suchen, heisst man Kräfte zusammensetzen; die Resultirende wieder durch Componenten ersetzen, heisst man Kräfte zerlegen. — Wir unterscheiden bei Kräften, die einen Angriffspunkt haben, zwei Fälle: entweder wirken sie 1. längs einer geraden Linie oder 2. unter einem Winkel.

Kräftenparallelogramm. Der Apparat ist (Fig. 19) ein

hölzernes Parallelogramm, dessen Seiten sowie die Diagonale aus Holzleisten bestehen, die an den gleichen Theilungspunkten durchbohrt sind, um sie zu einem beliebigen Parallelogramm zusammenfügen zu können. Im Punkte A sind 3 Schnüre zusammengeknüpft, die eine davon hängt frei herab, die andern zwei laufen längs der unteren Leisten hinauf und hängen oben über leicht bewegliche Rollen herab.

Fig. 19.



In der Figur ist die Seite $AB = 6$ Zoll, $AC = 8$ Zoll; längs der Seite AB zieht $Q = 6$ Pfund, längs AC aber $P = 8$ Pfund; der Angriffspunkt A dieser Kräfte bewegt sich in Folge dessen längs der Diagonale nach oben, wenn er frei ist. — Daraus folgt, dass die Resultirende zweier Kräfte die Richtung der Diagonale des Kräftenparallelogramms hat.

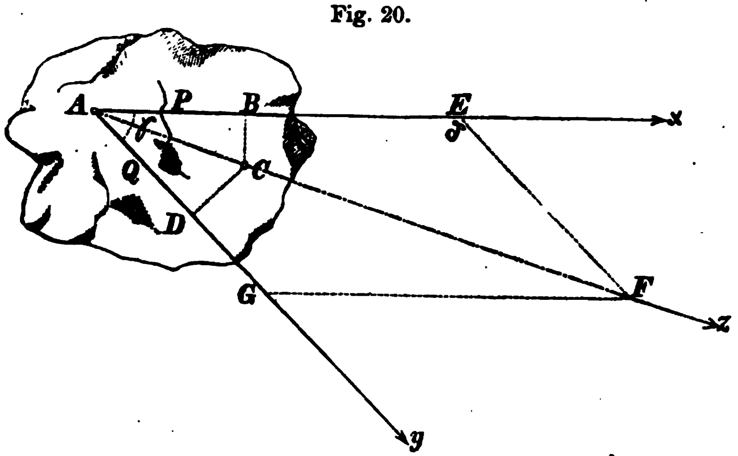
In der Figur ist aber durch eine der Diagonale gleiche, aber entgegengesetzte Kraft $R = 12$ ℔ das Gleichgewicht hergestellt und die Schnüre fallen dabei mit den Seiten genau zusammen. — Daraus folgt, dass die Diagonale des Kräftenparallelogramms die Grösse der Resultirenden angibt.

Aufgabe. Man construire auf dem Papiere ein Parallelogramm (rechtwinklig) ans den 2 Seiten 3 und 4 Cm., so dass seine Diagonale 5 Cm. lang wird. — Sieht man die vom Anfangspunkte der Diagonale auslaufenden 2 Seiten als 2 gegebene Kräfte von 3 und 4 ℔ an, so gibt die Diagonale ihre Resultirende = 5 ℔ an. — Davon überzeugt man sich unmittelbar durch folgenden Versuch: Zieht man den oberen Stift bei D (Fig. 19) heraus, und drückt das Parallelogramm so weit nieder, dass die Diagonale 10 Zoll beträgt, so muss die Resultirende R durch 10 ℔ ersetzt werden, damit Gleichgewicht besteht. Das hölzerne Parallelogramm ist jetzt auch rechtwinklig und das Gleichge-

wicht wird nicht gestört, wenn man anstatt 6, 8 und 10 ℔ die halben Kräfte 3, 4 und 5 ℔ setzt, genau den Seiten der Zeichnung entsprechend.

Die Diagonale des auf den Richtungen der Kräfte verzeichneten Parallelogramms gibt also nicht nur die Richtung, sondern auch die Grösse der Resultirenden an. Ein solches Parallelogramm, dessen Seiten in den Richtungen der Kräfte liegen und die Kräfte vorstellen, nennt man ein Kräften-Parallelogramm; daher sagt man kürzer: Die Resultirende wird durch die Diagonale des Kräften-Parallelogramms der Richtung und Grösse nach vorgestellt.

Fig. 20.



Haben zwei Kräfte P und Q, deren Richtungen einen beliebigen Winkel xAy einschliessen, einen gemeinschaftlichen Angriffspunkt A (Fig. 20), so kann sich der Körper nicht zugleich in der Richtung Ax und in der Ay fortbewegen, sondern in irgend einer einzigen Richtung Az. Die den Componenten P und Q entsprechende Kraft R, die den Körper in der Richtung Az fortbewegt, heisst die Resultirende. — Zu suchen ist die Grösse der Resultirenden R und die Richtung Az derselben.

Gesetzt Az sei die Richtung der Resultirenden, so kann sich der Körper nur dann wirklich fortbewegen, wenn in der Richtung Az kein für die Kraft R unüberwindlicher Widerstand vorhanden ist. Bringen wir in Gedanken einen solchen Widerstand oder einen festen Unterstützungspunkt in C an, so besteht Gleichgewicht. Zieht man von C auf die Richtungen der Kräfte P und Q die Senkrechten BC und CD, so hat man einen Hebel BCD, an

welchem sich die in den Abständen BC und CD wirkenden Kräfte das Gleichgewicht halten. Daher ist nach dem Satze des Hebels:

$$P : Q = CD : BC.$$

Bezeichnet man die Winkel xAy mit γ, xAz mit α, yAz mit β, so ist

$$CD = AC \,.\, \sin \beta$$

$$\text{und } BC = AC \,.\, \sin \alpha,$$

$$\text{daher } P : Q = \sin \beta : \sin \alpha.$$

Schneidet man von Ax ein beliebiges Stück AE ab, und zieht zu Ay eine parallele Linie EF, so hat man nach der Trigonometrie

$$AE : EF = \sin \beta : \sin \alpha,$$

folglich, wenn $AG = EF$ gemacht wird,

$$P : Q = AE : AG,$$

d. h. die Seiten des entstandenen Parallelogramms $AEFG$ verhalten sich gerade so wie die Kräfte selbst; daher wird $AEFG$ ein Kräften-Parallelogramm genannt.

Drückt man die Kraft P durch die Linie AE aus, so ist $P = AE$ und $Q = AG$.

Nun folgt aus dem Carnot'schen Lehrsatze:

$$AF^2 = AE^2 + EF^2 - 2AE \,.\, EF \,.\, \cos \delta;$$

oder weil $\delta = 180 - \gamma$ und $AG = EF$ ist

$$AF^2 = AE^2 + AG^2 + 2AE \,.\, AG \,.\, \cos \gamma,$$

und die Kräfte substituirt

$$AF^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ \,.\, \cos \gamma.$$

Nun ist AF als die in der Richtung der Resultirenden Az wirkende Kraft die Resultirende selbst, also $AF = R$, daher

$$R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ \cos \gamma \,.\,.\,.\,.\,.\, (1).$$

Das Quadrat der Resultirenden zweier unter einem Winkel wirkender Kräfte ist demnach gleich der Summe der Quadrate der beiden Componenten, mehr dem doppelten Produkte der Componenten in den Cosinus des von ihnen eingeschlossenen Winkels.

Aus Vorstehendem folgt, dass man mit Kräften, die man der Richtung und Grösse nach durch Linien ausdrückt, ebenso zu rechnen hat, wie mit Linien.

Die Folgerung, dass man mit Kräften, wie mit den sie vorstellenden Linien zu rechnen hat, führt alle Operationen der Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften auf das den Anfängern bekanntere Gebiet der Geometrie hinüber und gestattet so eine viel sicherere und raschere Durchführung.

In der Geometrie erfährt man, wie viel von einer gegebenen Linie nach einer gewissen Richtung entfällt, dadurch, dass man diese Linie auf die gegebene Richtung projicirt. Die Projection kann sowohl durch genaue Zeichnung als auch durch trigonometrische Berechnung gefunden werden. Ist z. B. AB (Fig. 21) die Linie, deren Projection auf die Richtung Ax zu bestimmen ist, so zieht man BC senkrecht auf Ax und erhält AC zur Projection; die Trigonometrie aber gibt

$$AC = AB \cdot \cos a,$$

worin a den Neigungswinkel zwischen der zu projicirenden Linie und der Projectionsrichtung bedeutet.

Fig. 21.

Die Projection einer gegebenen Linie auf eine zu ihr senkrechte Richtung ist Null, denn in diesem Falle ist $a = 90^0$ und $\cos 90^0 = 0$. Stellt daher die Linie AB eine Kraft P vor, so entfällt davon auf die Richtung Ax der Theil $P \cdot \cos a$, während längs einer zur Richtung von P senkrechten Richtung gar kein Antheil von P mehr entfällt, denn $P \cdot \cos 90^0$ ist Null. Sobald aber von einer Kraft längs einer Richtung kein Antheil mehr entfällt oder die Projection der Kraft nach dieser Richtung Null ist, so kann die Kraft nach dieser Richtung auch keine Wirkung hervorbringen, d. h. eine Kraft kann in einer Richtung, die auf ihrer eigenen Richtung senkrecht steht, keine Wirkung hervorbringen; folglich kann eine Kraft eine andere gegen ihre eigene Richtung senkrecht gerichtete Kraft in ihrer Wirkung weder vermindern noch vermehren. Diese Folgerung kann man auch so aussprechen: **Senkrechte Kräfte haben gegenseitig keine Wirkung auf einander, sie können einander weder schwächen noch verstärken.**

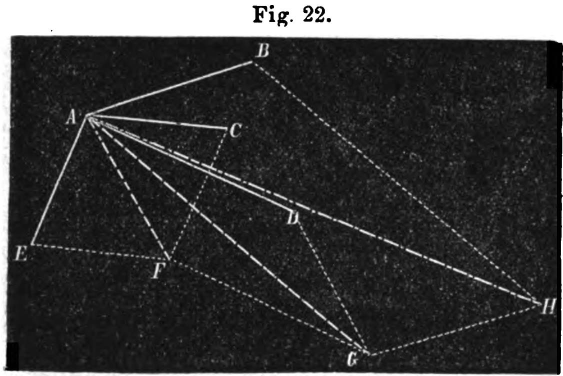
Aufgabe. Wie gross ist die Resultirende der 2 unter einem rechten Winkel wirkenden Componenten: $P = 1$ Ztr., $Q = 80$ ℔? Zu bestimmen aus den Projectionen der Componenten nach der Diagonale, u. z. sowohl durch blosse Abmessung als auch durch Rechnung.

§. 10. Folgerungen aus dem Kräften-Parallelogramme. 1. Sind zwei Kräfte P und Q mit ihrem Richtungswin-

kel γ gegeben, so lässt sich nach dem Ausdrucke *(1)* ihre Resultirende berechnen. Man ersieht aus *(1)*, dass die Grösse der Resultirenden zweier und derselben Kräfte sich mit dem von ihnen eingeschlossenen Winkel ändert, und zwar ist sie am grössten $R = P + Q$ für $\gamma = o$. Für $\gamma = 90^0$ ist $\cos\gamma = o$ und $R = \sqrt{P^2 + Q^2}$; für die Zwischenfälle $0^0 < \gamma < 90^0$ ist $\cos\gamma$ im Abnehmen begriffen, daher auch der Werth der Resultirenden abnimmt. Wird $\gamma > 90^0$, so wird $\cos\gamma$ negativ und $R < \sqrt{P^2 + Q^2}$; für $\gamma = 180^0$ endlich wird $\cos\gamma = -1$ und $R = P - Q$. — Man ersieht, dass die Resultirende zweier unter einem Winkel wirkender Kräfte mit dem Wachsen des Winkels abnimmt, dass sie stets kleiner ist als die Summe, aber grösser als die Differenz der Kräfte. Die Grösse der Resultirenden ist ein Maximum: $R = P + Q$, wenn $\gamma = 0^0$, d. h. wenn die Kräfte parallel und nach derselben Richtung wirken; ist aber $\gamma = 180^0$, d. h. wirken die Kräfte parallel aber in entgegengesetzter Richtung, so ist die Resultirende ein Minimum: $R = P - Q$.

2. Beliebig viele auf einen Punkt nach bestimmten Richtungen wirkende Kräfte lassen sich in eine einzige Resultirende vereinigen, indem man nach dem Satze des Kräften-Parallelogrammes zuerst die Resultirende zweier Kräfte, dann dieser Resultirenden und einer dritten Kraft etc. sucht. Graphisch Fig. 22. Die Componenten *AB*, *AC*, *AD*, *AE* haben den gemeinschaftlichen Angriffspunkt *A*; *AF* ist die Resultirende von *AC* und *AE*; *AG* die Resultirende von *AF* und *AD*; endlich ist *AH* die Resultirende von *AG* und *AB*; also *AH* die Resultirende aller Componenten. — Als Beispiel das Kräften-Parallelopiped. — Ebenso kann eine Kraft, z. B. hier die Resultirende *AH*, in mehrere Componenten zerlegt werden. Die Zerlegung ist aber ohne Angabe der Grösse und Richtung eine unbestimmte, beliebige; bei einer bestimm-

Fig. 22.



ten Angabe aber kann man eine bestimmte Zerlegung vornehmen.

Aufgabe. Ein Schiff wird mit 10 Ztr. Kraft unter dem Neigungswinkel von 30° gegen das Ufer gezogen, wie gross ist die mit dem Ufer parallele und wie gross die dagegen senkrechte Componente?

3. Gleichgewicht zwischen Kräften, die auf einen freien Punkt wirken, wird herrschen, wenn sich sämmtliche Kräfte zurückführen lassen auf zwei gleiche und sich gerade entgegengesetzte Kräfte R und S. — Dieses lehrt schon der Versuch mit dem Kräftenparallelogramme.

Sollen drei in einer Ebene auf einen freien Punkt A wirkende Kräfte sich das Gleichgewicht halten, so muss stets die dritte Kraft der Resultirenden der beiden andern gleich und gerade entgegengesetzt sein.

Fig. 23.

4. Aus $P : Q = \sin\beta : \sin\alpha$ ergibt sich das Verhältniss zwischen P und Q und den von einem beliebigen Punkte F der Resultirenden (Fig. 23) auf die Richtungen der Kräfte gefällten Senkrechten. Es ist

$$FH = AF \sin\beta$$
$$FG = AF \sin\alpha, \text{ mithin}$$
$$FH : FG = \sin\beta : \sin\alpha, \text{ daher}$$
$$P : Q = FH : FG,$$

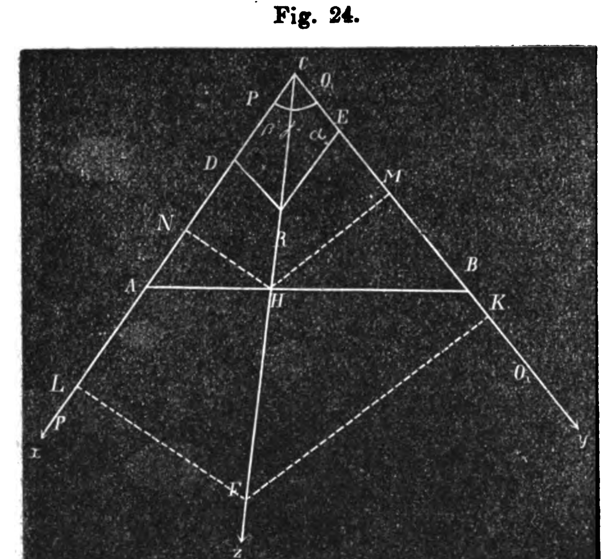
d. h. die Componenten verhalten sich wie umgekehrt die von irgend einem Punkte der Resultirenden auf die Richtungen derselben gefällten Senkrechten.

Von diesem Satze kann man sich auch beim Versuche mit dem Apparate Figur 19 überzeugen, wenn man die Abstände eines Punktes *d* der Richtung der Resultirenden von den Componenten misst.

§. 11. **Kräfte, die auf verschiedene Angriffspunkte wirken.** Haben Kräfte verschiedene Angriffspunkte, so lassen sie nur dann eine Resultirende zu, wenn 1. ihre Angriffspunkte unveränderlich oder fest mit einander verbunden sind, und wenn 2. ihre Richtungen in einer und derselben Ebene liegen. Denn sind die Angriffspunkte gar nicht verbunden, so bringen die Kräfte keine gemeinsame Wirkung hervor, sind sie aber veränderlich verbunden, so folgt auf jede Veränderung der Verbindungsweise eine Veränderung in der Resultirenden, also kann von einer Resultirenden nicht die Rede sein. Wirken aber bei unveränderlicher Verbindung der Angriffspunkte die Kräfte nicht in derselben Ebene, so bestehen sie aus Kräften, die in der Ebene, und aus solchen, die senkrecht auf die Ebene wirken, lassen sich also auch nicht durch eine einzige Kraft ersetzen. — Bei Kräften mit verschiedenen Angriffspunkten unterscheidet man wieder 1. Kräfte, deren Richtungen parallel, 2. Kräfte, deren Richtungen nicht parallel sind.

a) Resultirende zweier auf verschiedene Angriffspunkte wirkenden nicht parallelen Kräfte. Denken wir uns Fig. 24 die beiden Angriffspunkte *A* und *B* mit dem Durchschnittspunkte *C* in fester Verbindung, so können wir ohne Aenderung der Wirkung die Angriffspunkte der Kräfte nach *C* versetzen; dadurch erscheint dieser Fall zurückgeführt auf jenen, wo die

Fig. 24.



Kräfte auf einen Punkt unter einem beliebigen Winkel wirken. Wir brauchen nur in C das Kräftenparallelogramm zu construiren, so gibt dessen Diagonale die Resultirende ihrer Grösse und Richtung nach, daher ist

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2 + 2PQ \cos \gamma} \ldots (1), \text{ und}$$

die verlängerte Diagonale schneidet die starre Verbindung AB in dem Punkte H, mithin ist H der Angriffspunkt der Resultirenden der auf AB wirkenden Kräfte. — Bringen wir unter H eine Stütze an, um welche sich die starre Linie AB drehen lässt, so wird die Resultirende dadurch aufgehoben, und wir haben dann einen Hebel vor uns, an dem sich die Kräfte P und Q das Gleichgewicht halten. Fällen wir von H auf die Richtungen der Kräfte die Senkrechten HM und HN, so ist

$$P : Q = HM : HN.$$

Werden von einem andern in der Richtung der Resultirenden liegenden Punkte, z. B. von F Senkrechte FK und FL auf die Richtungen der Kräfte gefällt, so folgt aus der Geometrie

$$HM : HN = FK : FL, \text{ mithin}$$
$$P : Q = FK : FL \ldots (2),$$

d. h. die Kräfte verhalten sich zu einander, wie umgekehrt die Senkrechten, die von irgend einem Punkte der Resultirenden auf die Richtungen dieser Kräfte gefällt werden — wie wir dies schon oben gesehen haben.

b) Resultirende paralleler auf verschiedene Angriffspunkte wirkender Kräfte.

1. Für parallele Kräfte von gleicher Richtung. In dem speciellen Falle, wo die Kräfte P und Q parallel sind, ist der Winkel γ in der Gl. (1) gleich Null; aber es ist $\gamma = \alpha + \beta$, also ist auch

$$\alpha + \beta = o \ldots (3), \text{ oder } \alpha = o \text{ und } \beta = o,$$

d. h. die Richtung der Resultirenden ist parallel mit den Richtungen der Kräfte.

Die Grösse der Resultirenden paralleler Kräfte ergibt sich durch die Substitution $\cos \gamma = 1$ in Gleichung (1)

$$R = P + Q \ldots (4),$$

d. h. die Resultirende zweier in derselben Ebene auf zwei verschiedene Punkte einer starren Linie wirkenden parallelen Kräfte ist gleich der Summe dieser Kräfte.

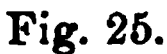
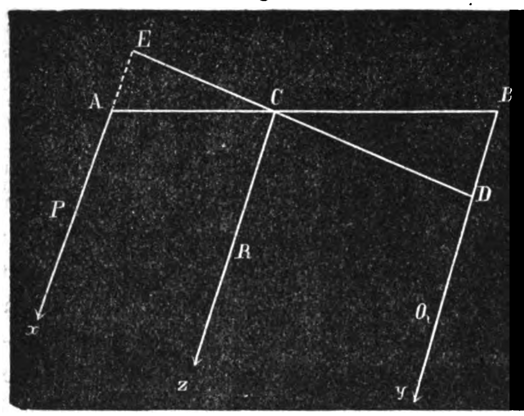


Fig. 25.



Zur Bestimmung des Angriffspunktes C paralleler Kräfte verwenden wir die Proportion *(2)*. Man nimmt vorläufig den Punkt C (Fig. 25) als gegeben an, zieht auf die Richtungen der parallelen Kräfte durch C die Senkrechte DE, so ist vermöge der Proportion *(2)*

$$P : Q = CD : CE.$$

Aber wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke AEC und BDC

$$CD : CE = BC : AC, \text{ mithin}$$
$$P : Q = BC : AC \ldots (5),$$

d. h. die Resultirende theilt die gerade Linie, welche die Angriffspunkte der parallelen Kräfte unveränderlich verbindet, in zwei Theile, die sich zu einander verhalten, wie umgekehrt die Kräfte. Und aus *(5)* ergibt sich

$$(P + Q) : P = AB : BC, \text{ oder da } P + Q = R \text{ ist}$$

$$BC = \frac{P \,.\, AB}{R} \ldots (6).$$

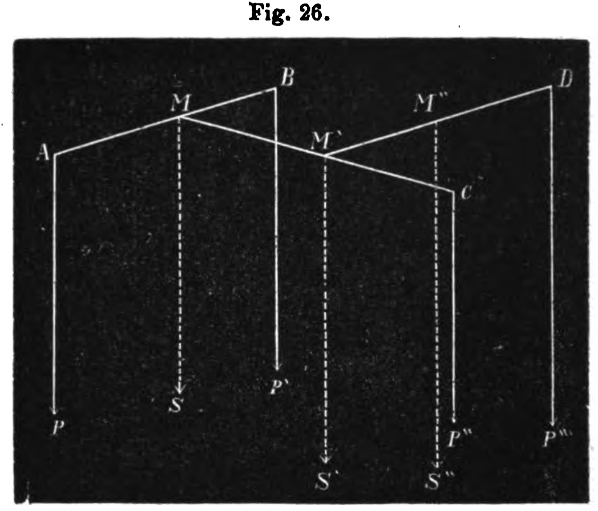
Diese Gleichung zeigt uns die Lage des Angriffspunktes C, sie sagt uns aber auch, dass die Lage von C unabhängig ist von dem Winkel, welchen die Richtungen der Kräfte mit der starren Linie einschliessen, denn C bleibt an derselben Stelle, so lange AB, P und Q sich nicht ändern, mögen die Richtungen der Kräfte gegen AB wie immer geneigt sein. Der Punkt C heisst dieser Eigenschaft wegen Mittelpunkt paralleler Kräfte.

An Beispielen kann gezeigt werden, wie nach der Proportion *(5)* eine auf einen gegebenen Punkt C wirkende Kraft in Componenten, die in verlangten Punkten A und B ihre Angriffspunkte haben, zerlegt wird.

1. Wirken mehrere parallele Kräfte auf ein System von materiellen Punkten nach derselben Richtung hin, so sucht

man zuerst die Resultirende für zwei Kräfte, dann die Resultirende für die bereits gefundene und eine dritte Kraft und bestimmt stets den Angriffspunkt nach der Gleichung (6) etc., so erhält man zur Resultirenden sämmtlicher Kräfte ihre Summe und einen von ihrer gemeinschaftlichen Neigung gegen das System unabhängigen Angriffspunkt der Resultirenden, **Mittelpunkt paralleler Kräfte** genannt.

Fig. 26.

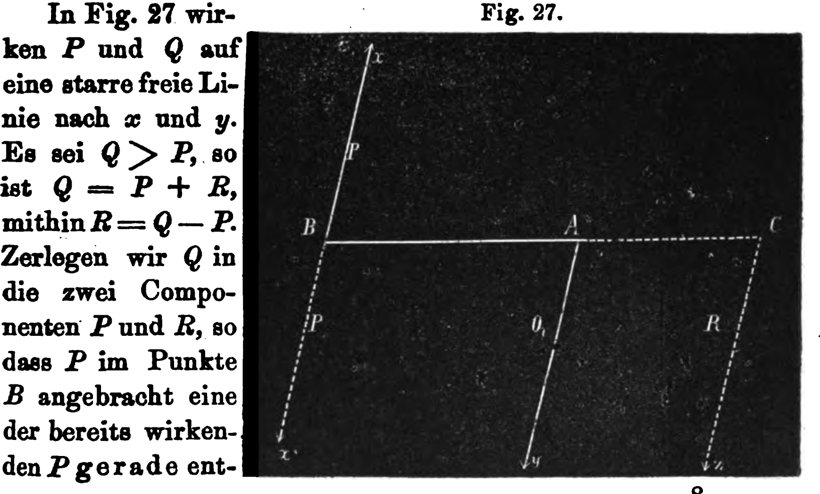


Aufgabe. In der Figur 26 sind A, B, C und D fest mit einander verbundene Angriffspunkte der parallelen Kräfte P, P_1, P_2, und P_3; es ist die Resultirende und der Mittelpunkt paralleler Kräfte zu suchen.

2. Haben zwei parallele Kräfte entgegengesetzte Richtungen, so ist die Resultirende entweder gleich ihrem Unterschiede oder sie lassen keine zu.

In Fig. 27 wirken P und Q auf eine starre freie Linie nach x und y. Es sei $Q > P$, so ist $Q = P + R$, mithin $R = Q - P$. Zerlegen wir Q in die zwei Componenten P und R, so dass P im Punkte B angebracht eine der bereits wirkenden P gerade ent-

Fig. 27.



gegengesetzte (punktirt) Richtung hat und ihr das Gleichgewicht hält; so bleibt von den ursprünglichen Kräften nur noch die mit ihnen parallele R übrig; R muss also die Resultirende sein.

Ihre Grösse ist $R = Q - P$

und sie hat die Richtung der grösseren Componente. Ihr Angriffspunkt bestimmt sich nach *(5)* aus den Componenten von Q

$$P : R = AC : AB$$

$$AC = \frac{P \,.\, AB}{R} = \frac{P \,.\, AB}{Q - P}$$

und wir sehen, dass für $Q = P$ der Ausdruck $AC = \infty$ wird, und $R = o$. Es ist also in diesem Falle nicht mehr möglich durch eine einzige Kraft dieselbe Wirkung hervorzubringen, d. h. die Kräfte haben keine Resultirende. Ist die starre Linie AB frei, wie eine frei aufgehängte Magnetnadel, so bringen diese zwei gleichen Kräfte P und Q eine Drehung hervor und halten sich erst das Gleichgewicht, wenn sie in die Verlängerung von AB fallen. Zwei solche Kräfte nennt man ein Kräftenpaar.

3. Soll von mehreren parallelen Kräften, von denen einige entgegengesetzte Richtungen haben, die Resultirende gefunden werden, so sucht man zuerst die Resultirende der nach der einen, dann der nach der entgegengesetzten Richtung thätigen Kräfte und vereinigt diese zwei letzten Kräfte nach den eben unter 2. angeführten Regeln. Dann herrscht zwischen parallelen Kräften Gleichgewicht, wenn die beiden Resultirenden einander gleich und gerade entgegengesetzt sind.

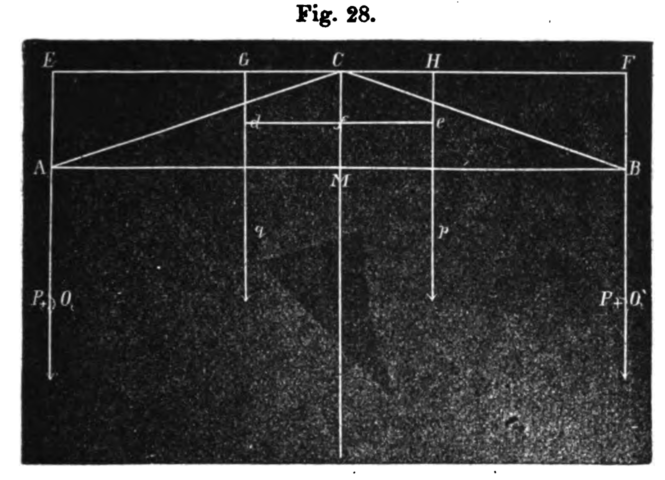
§. 12. **Anwendung des Hebels auf die Wage.** Die Anwendungen des Hebels sind ausserordentlich zahlreich. Messer, Scheeren, Zangen wirken bei ihrem Gebrauche als Hebel, ferner die Spaten beim Graben, die Ruder bei den Kähnen, die Schiebkarren etc.

Wenden wir die Gesetze des Hebels zur Construction verschiedener Wagen an.

A. Die gemeine oder Krämerwage ist ein gleicharmiger Hebel, Wagbalken genannt, an dem das Gewicht eines Körpers durch ein gleiches Gegengewicht bestimmt wird. Der Wagbalken ist um eine horizontale, senkrecht auf seiner Längsrichtung stehende Axe drehbar und trägt an seinen End-

punkten A und B (Fig. 28 und 29) Schalen zur Aufnahme der Last und des ihr gleichen Gegengewichtes. Die Drehungsaxe C ruht bei den gewöhnlicheren dieser Wagen in der sogenannten Schere, d. i. in einer frei und lothrecht aufgehängten Gabel oder

Fig. 28.



bei feineren Wagen auf einer sehr harten Unterlage, getragen von einer verticalen Säule. Die horizontale Stellung des Wagbalkens wird an der sogenannten Zunge erkannt, die entweder über dem Balkon, wenn er von einer Schere, oder unter ihm steht, wenn er von einer verticalen Säule getragen wird; sie muss also vertical stehen, damit der Wagbalken horizontal stehe.

Die gerade Linie, welche die Aufhängepunkte der Schalen verbindet, nennt man die Längenaxe, ihren Halbirungspunkt den Mittelpunkt und die beiderseitigen Theile die Arme des Wagbalkens. Eine durch die Längenaxe gelegte verticale Ebene schneidet die Drehungsaxe in einem Punkte, welcher Drehungspunkt heisst.

Man verlangt von einer guten Wage, dass sie richtig und empfindlich sei.

a) Bedingungen der Richtigkeit der gemeinen Wage. Die Wage ist richtig, wenn der Wagbalken bei vollkommen gleicher Belastung der Wagschalen bei jeder Temperatur in horizontaler Lage, im stabilen Gleichgewichte steht. Der Wagbalken hat ein stabiles Gleichgewicht, wenn bei seiner horizontalen Lage sein Schwerpunkt vertical unter der Drehungsaxe liegt.

8*

Der stabile Wagbalken kann in der horizontalen Lage als ein mathematischer Hebel angesehen werden; der Zug seines Gewichtes wird durch die Unterlage aufgehoben.

Hat die Wagschale bei A das Gewicht $= Q$, die bei B aber Q^1 und liegt in A das Gewicht P, welches der Last P^1 bei B das Gleichgewicht hält, so hat man nach dem Satze $\Sigma(Pp) = \Sigma(Qq)$

$$(P + Q) \,.\, AM = (P^1 + Q^1) \,.\, BM$$

Wäre die Last ohne Schalen aufgehängt worden, so hätte man

$$P \,.\, AM = P^1 \,.\, BM.$$

Die Krämerwage ist richtig, wenn sie durch ein der Last P^1 gleiches Gegengewicht P in horizontaler Lage erhalten wird, also wenn $P = P^1$ ist; daher folgt aus vorstehender Gleichung

$$AM = BM,$$

d. h. die Wagbalkenarme müssen gleich lang sein.

Zieht man die zweite Gleichung von der ersten ab, so bleibt

$$Q \,.\, AM = Q^1 \,.\, BM,$$

es ist aber $AM = BM,$ also auch

$$Q = Q^1,$$

d. h. die beiden Wagschalen müssen gleiche Gewichte haben.

Ferner muss der Wagbalken ganz symmetrisch gearbeitete Arme haben, deren Schwerpunkte gleich weit von der Drehungsaxe entfernt sind, weil er nur dann auch bei Temperaturänderungen beiderseits gleiche Aenderungen erleidet und horizontal bleibt.

Bezeichnen wir (Fig. 28) mit A und B die Aufhängepunkte, mit Q und Q^1 die Gewichte der Schalen, in denen gleiche Gewichte, jedes $= P$ liegen; d und e seien die Schwerpunkte, p und q die Gewichte der einzelnen Arme, C der Drehungspunkt. Und wenden wir den Satz von der Zusammensetzung der Drehungsmomente an, so erhalten wir für den Zustand des horizontalen Gleichgewichtes die Gleichung

$$(P + Q)\, CE + q \,.\, CG = (P + Q^1)\, CF + p \,.\, CH.$$

Aber es ist wegen der horizontalen Stellung

$$CE = AM,\ CF = BM,\ CG = df,\ CH = ef, \text{ mithin}$$
$$(P + Q)\, AM + q \,.\, df = (P + Q^1)\, BM + p \,.\, ef, \text{ oder}$$
$$P\,(AM - BM) = Q^1 \,.\, BM - Q \,.\, AM + p \,.\, ef - q \,.\, df.$$

Diese Gleichung muss für jede beliebige Belastung stattfinden, mithin auch für $P = o$; für diesen Fall hat man aber

$$o = Q^1\, BM - QAM + p\, ef - q\, df.$$

Da dieser Ausdruck nur Grössen enthält, die an einer fertigen Wage sich nicht ändern sollen, so behält er seinen Werth Null bei jedem Werthe von P, daher ist bei jeder Belastung

$$Q'BM - QAM + p \cdot ef - q \cdot df = o \ldots (1),$$

folglich auch

$$P(AM - BM) = o \ldots (2).$$

Da P beliebig ist, so kann die Gleichung (2) nur dann bestehen, wenn $AM - BM$ stets $=$ Null ist, d. h.

$$AM = BM \ldots (3) \ldots \text{d. h. ?}$$

Der Gleichung (1) wird Genüge geleistet, wenn

$$(Q' - Q)\, AM = o \text{ oder } Q = Q' \ldots \text{d. h.? } (4)$$

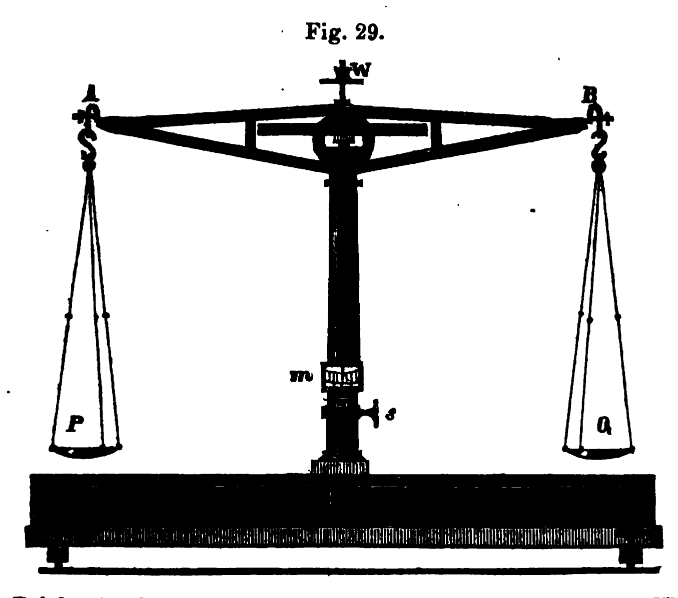
und $p \cdot ef - q \cdot df = o$ ist.

Die letzte Gleichung lässt sich nun auf eine zweifache Weise befriedigen, entweder durch die einzige Gleichung $p \cdot ef = q \cdot df$ oder durch die zwei Gleichungen

$$q = p \text{ und } ef = df \ldots (5),$$

d. h. beide Wagbalkenarme müssen gleiche Gewichte haben und die Schwerpunkte der Arme gleich weit von dem Mittelpunkte M der Längenaxe AB entfernt sein. Damit letztere Bedingung erfüllt werde, müssen die Arme aus einem gleichmässig dichten Materiale bestehen und vollkommen symmetrisch gebaut sein.

Fig. 29.



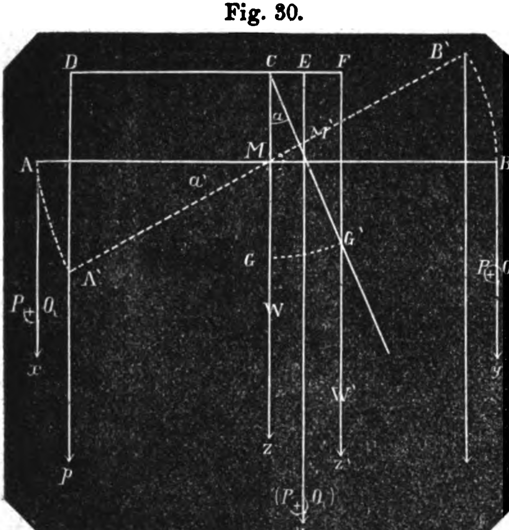
Bei der durch die Gleichung (5) gegebenen Beschaffenheit des Wagbalkens werden bei einer Temperaturänderung die Abstände der Schwerpunkte der Arme dieselben Aenderungen erfahren und der Wagbalken wird sowohl

ohne, als auch bei gleicher Belastung horizontal bleiben, d. h. die Wage wird richtig sein.

Die Gleichungen *(3)*, *(4)* und *(5)* geben die Construction einer richtigen Wage an: Die beiden Arme des Wagbalkens müssen gleich lang, die Gewichte der Wagschalen einander gleich sein, zugleich müssen die beiden gleich langen Arme gleiche Gewichte haben und ihre Schwerpunkte gleich weit vom Mittelpunkte der Längenaxe entfernt liegen, d. h. die beiden Arme müssen vollkommen symmetrisch sein (Fig. 29). Es muss also nicht nur die Form symmetrisch, sondern auch das Material in allen Theilen gleich dicht sein. Dieser Anforderung streng zu genügen, ist für den Mechaniker eine sehr schwere Aufgabe, daher bringt er in *A* und *B* bewegliche Scheibchen an, zur Correction jener kleinen Fehler, die daher kommen, dass die Gewichte der beiden Arme des Wagbalkens oder die Abstände ihrer Schwerpunkte von der Drehungsaxe nicht vollkommen einander gleich sind.

Prüfung der Richtigkeit der Wage. Man untersuche, ob der Wagbalken ohne Schalen bei veränderten Temperaturen horizontal stehe, dann ob dies auch nach dem Aufhängen und Vertauschen der Schalen und bei gleichen in dieselben zu legenden Gewichten stattfindet. Der letzte Versuch entscheidet, ob die Aufhängepunkte oder Aufhängeschneiden gut eingerichtet sind oder nicht. — Warum ist bei guten Wagen der Wagbalken nicht aus Eisen gearbeitet? Selbst mit einer unrichtigen Wage kann man einen Körper richtig abwägen, und zwar am bequemsten nach Borda durch doppelte Wägung mittelst Tara.

Fig. 30.



b) Bedingungen der Empfindlichkeit der gemeinen Wage. Empfindlich ist eine Wage, wenn schon ein sehr geringes Uebergewicht in der einen Wagschale an der Aenderung der horizontalen Stellung des Wagbalkens zu erkennen ist. Der Winkel, welchen dabei der Wagbalken mit seiner horizontalen oder die Zunge mit ihrer verticalen Stellung bildet, heisst Ausschlagswinkel oder schlechtweg Ausschlag. Je grösser der Aus-

schlag bei einem bestimmten Uebergewichte, oder je kleiner das Uebergewicht bei einem bestimmten Ausschlage, desto empfindlicher erscheint die Wage.

Um die Bedingungen zu ermitteln, von denen der Grad der Empfindlichkeit abhängt, legen wir (Fig. 30) in die Schale bei A das Uebergewicht p. Der Wagbalken bekommt die geneigte Stellung $A'B'$. Statt $P + Q$ in A und B führen wir ihre Resultirende $2(P + Q)$ in M, jetzt M' ein; in G sei der Schwerpunkt des Wagbalkens vom Gewichte W, das jetzt in G' zieht. Ziehen wir noch durch den Drehungspunkt eine horizontale Linie, auf der die verlängerten Zugkräfte senkrecht stehen und wenden den Satz $\Sigma(Pp) = \Sigma(Qq)$ an, so erhalten wir

$$p \,.\, CD = 2(P + Q)\, CE + W \,.\, CF, \text{ daraus}$$

$$p = \frac{2(P + Q)\, CE + W \,.\, CF}{CD}$$

Man sieht, dass zu einem Ausschlage a ein desto kleineres Uebergewicht p erfordert wird, je kleiner der Zähler und je grösser der Nenner des für den Werth von p erhaltenen Bruches ist, mithin ist die Wage desto empfindlicher, je länger die Arme des Wagbalkens, je kleiner die Belastung und das Gewicht des Wagbalkens sammt dem Gewichte der Schalen, ferner je kleiner die Abstände des Schwerpunktes und des Mittelpunktes von der Drehungsaxe sind.

Damit die Empfindlichkeit von der Belastung unabhängig werde, verlegt man die Drehungsaxe in den Mittelpunkt des Wagbalkens, dadurch wird $CE = o$ und die Empfindlichkeit wird zugleich grösser, nämlich

$$p = \frac{WCF}{CD}$$

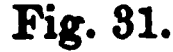
Soll ein geringes Uebergewicht einen merklichen Ausschlag geben, so muss auch die Reibung an der Drehschneide, die es überwinden muss, möglichst vermindert und die Schneide vor Abstumpfung geschützt werden. Zu diesem Behufe wird die Schneide aus gehärtetem Stahle verfertigt und auf eine Unterlage aus Achat oder andern harten Steinen gestellt und das Stativ hohl gelassen zur Aufnahme der Sperrvorrichtung, d. i. eines am Fusse des Trägers des Wagbalkens durch eine drehbare Scheibe zu hebenden und zu senkenden Hebels mit einem horizontalen Querstücke, womit der Wagbalken gehoben und die Drehschneide ausser Berührung mit der Unterlage gebracht werden kann, was beim Auflegen und Wegnehmen der Last, und auch dann, wenn die Wage nicht gebraucht wird, immer zu geschehen hat.

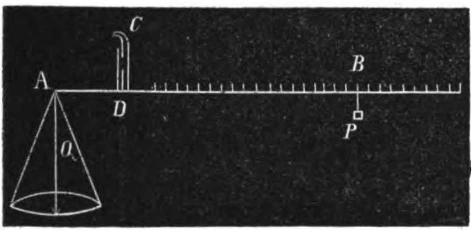
Ferner ist zur Regulirung der Empfindlichkeit in der Mitte des Wagbalkens oben ein metallenes Scheibchen, welches sich auf- und niederschrauben lässt, angebracht. Wird es niedergeschraubt, so rückt der Schwerpunkt des Wagbalkens tiefer abwärts und die Empfindlichkeit wird vermindert, und umgekehrt. Man pflegt die Empfindlichkeit zu vermindern, wo es nicht auf die äusserste Genauigkeit ankommt, um schneller abwägen zu können, da die Schwankung früher aufhört.

Allgemeine Bemerkung. Bei jeder Wage darf eine bestimmte Grösse des Gewichtes nicht überschritten werden, damit der aus gehämmertem Messingblech angefertigte Wagbalken nicht gebogen werde. Diese grösste zulässliche Belastung T wird vom Mechaniker als Tragkraft der Wage angegeben. Gibt bei dieser Belastung T ein Uebergewicht p noch einen merklichen Ausschlag, so wird der Quotient $\frac{p}{T}$ als die Empfindlichkeit der Wage vom Mechaniker angegeben; so z. B. soll eine zu chemischen Abwägungen geeignete Wage wenigstens $\frac{p}{T} = \frac{1}{200000}$ besitzen, d. h. $p = \frac{T}{200000}$, damit sie für eine Last $Q < T$ noch ein Uebergewicht $p_1 < \frac{T}{200000}$ durch einen merklichen Ausschlag erkennen lasse. Man hat Wagen von Robinson, Pistor und Fortin, der Empfindlichkeit über 0.0000005 beträgt.

Um beim Abwägen ganz kleine Gewichte, die kaum genau anzufertigen sind und leicht verloren gehen, z. B. Milligramme, entbehrlich zu machen, gab Berzelius den Wagen folgende Einrichtung: Jede Hälfte des Wagbalkens wird durch verticale Striche in zehn gleiche Theile getheilt und den zur Wage gehörigen Gewichten werden Häkchen von feinem Platin- oder Silberdraht beigegeben, deren jedes genau 1 Centigramm wiegt. Ein solches Häkchen am ersten, zweiten, dritten ... Theilstrich von der Drehungsaxe aufgehängt, wirkt wie wenn in die Wagschale ein, zwei, drei ... Milligramme gelegt worden wären.

Die Theorie der Wage wurde zuerst vollständig entwickelt von Leonhard Euler in den Commentarien der kais. Akademie der Wissenschaften zu Petersburg.


Fig. 31.



B. Die Schnellwage (Fig. 31) ist ein ungleicharmiger Hebel, an dessen kürzerem Arme ein Haken oder eine Schale zur Aufnahme der Last angebracht ist, an dem längeren kann aber ein Gegengewicht, Laufer genannt, so weit geschoben werden, dass der Wagbalken horizontal steht, was an der verticalen Stellung

der Zunge erkannt wird. An einer mathematischen Schnellwage ist also die Bedingung für das horizontale Gleichgewicht

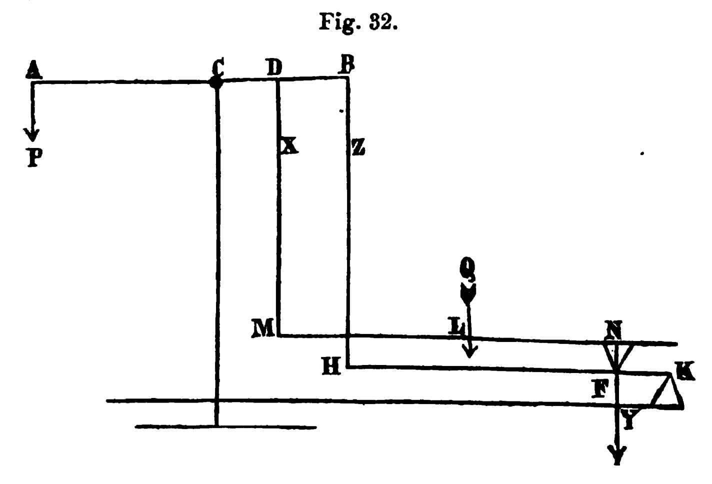
$$Q \cdot AD = P \cdot BD, \text{ und}$$

$$Q = P \cdot \frac{BD}{AD} = n \cdot P. \text{ das Gewicht des Körpers.}$$

An einer physischen Wage neigt sich schon der unbelastete Wagbalken. Die Eintheilung des Balkens geschieht dadurch, dass man drei Punkte für das Laufgewicht P bestimmt. Zuerst hält der Laufer an einem Punkte einer beliebigen Last das Gleichgewicht; dann legt man z. B. 1 ℔ dazu und sucht den zweiten Punkt für das Gleichgewicht, dann noch 1 ℔ und stellt den Laufer auf den dritten Punkt, so dass Gleichgewicht besteht. Sind die Punkte richtig bestimmt, so sind ihre Entfernungen einander gleich, man fasst sie daher mit dem Zirkel ab und theilt damit die ganze Balkenlänge; diese Theilstriche geben dann Pfunde an. — Geprüft wird die Schnellwage durch Abwägen bekannter Gewichte.

Die Schnellwage bietet beim Abwägen grosser Lasten den Vortheil, dass man mit wenigen Laufgewichten ausreicht und diese nicht zu heben, sondern nur zu verschieben braucht; jedoch ist mit einer Schnellwage keine so genaue Gewichtsbestimmung möglich, als mit einer richtigen und empfindlichen gemeinen Wage.

Fig. 32.



C. Decimalwage. Die Fig. 32 stelle uns den verticalen Durchschnitt der gewöhnlichen Decimalwage vor. Ein ungleicharmiger Hebel AB ruht im Drehungspunkte C auf einem Ständer und steht schon ohne Belastung horizontal. Die Last wird auf die Platte MN, z. B. im Punkte L aufgelegt; der

Druck der Last vertheilt sich in zwei Kräfte X und Y, wovon X bei D den Angriffspunkt hat, während Y im Punkte F auf den darunter befindlichen einarmigen Hebel HK herabdrückt und auf B den Zug Z ausübt.

Die Grösse der Kräfte X, Y und Z kann aus der Wirkung der Kräfte an dem einarmigen Hebeln MN und HK gefunden werden. Weil im Zustande des Gleichgewichtes die Hebel eine horizontale Lage haben und folglich die Kräfte darauf senkrecht wirken, so hat man die Momente

$$X \,.\, MN = Q \,.\, LN \text{ und darnach auch}$$
$$Y \,.\, MN = Q \,.\, LM.$$

Darnach findet man für Z die Gleichung der Momente

$$Z \,.\, HK = Y \,.\, FK = Q \,.\, \frac{LM}{MN} \,.\, FK.$$

Durch die erste und dritte Gleichung sind die Kräfte X und Z gegeben, und man kann unmittelbar den Satz von der Gleichheit der Momente im Zustande des Gleichgewichtes am Hebel AB anwenden; daraus folgt, wenn P das Gegengewicht ist,

$$P \,.\, AC = X \,.\, CD + Z \,.\, BC$$

und nach Substitution der Werthe für X und Y

$$P \,.\, AC = Q \,.\, \left[\frac{LN}{MN} \,.\, CD + \frac{LM}{MN} \,.\, \frac{FK}{HK} \,.\, BC\right]$$

oder

$$P = Q \left[\frac{LN}{MN} \cdot \frac{CD}{AC} + \frac{LM}{MN} \cdot \frac{FK}{HK} \cdot \frac{BC}{AC}\right].$$

In dieser allgemeinen Gleichung kann das Verhältniss zwischen der Kraft P und der Last Q nach Bedürfniss gewählt werden. Fordert man, dass es eine Decimalwage sei, so muss die Bedingung

$$P = \frac{Q}{10}$$

erfüllt werden. Soll aber dieses der Fall sein, so muss offenbar der Werth des eingeklammerten Ausdruckes selbst gleich $\frac{1}{10}$ sein, d. h.

$$\frac{LN}{MN} \cdot \frac{CD}{AC} + \frac{LM}{MN} \cdot \frac{FK}{HK} \cdot \frac{BC}{AC} = \frac{1}{10}.$$

Die Richtigkeit und Brauchbarkeit der Decimalwage fordert aber auch noch, dass die Last Q stets denselben Zug auf den Hebel AB ausübe, an welcher Stelle der Platte MN sie auch liegen mag. So lange aber die Grössen LN und LM in der Gleichung vorkommen, ist jedoch die Stärke des Zuges der Last Q von der Lage des Punktes L abhängig. Von der Lage des Punktes L kann man sich aber unabhängig machen durch die Annahme, dass

$$\frac{CD}{AC} = \frac{FK}{HK} \cdot \frac{BC}{AC} \text{ oder } \frac{BC}{CD} = \frac{HK}{FK}$$

sei, denn in diesem Falle lässt sich der gleiche Factor herausheben und schreiben

$$\frac{CD}{AC} \left(\frac{LN}{MN} + \frac{LM}{MN}\right) = \frac{1}{10}.$$

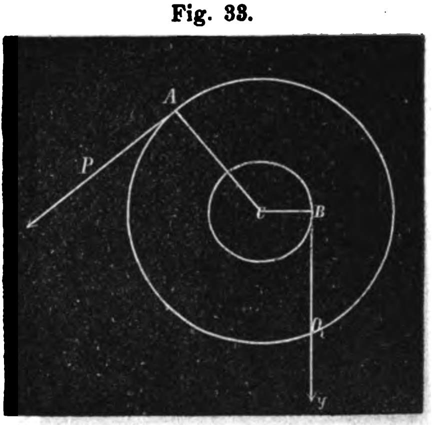
Da nun der eingeklammerte Ausdruck hier gleich *1* ist, so fallen *LN* und *LM* weg und die Last übt an jeder Stelle den gleichen Zug. Damit die Last an jeder Stelle der Brücke denselben Zug ausübe, muss also die Construction die Bedingungen erfüllen

$$1. \ldots BC : CD = HK : FK \ldots \text{d. h.?}$$
$$2. \ldots \quad AC = 10 \,.\, CD \ldots \text{d. h.?}$$

Hätte man $P = \frac{Q}{100}$ gesetzt und die weiteren Bedingungen erfüllt, so hätte man eine Centesimalwage vor sich.

§. 13. **Gleichgewicht der Kräfte am Wellrade.** Das Wellrad besteht aus einem um seine Axe drehbaren Cylinder, Welle oder Wellbaum genannt, und einem auf der Axe des Cylinders senkrecht stehenden concentrischen Rade. Die Kräfte wirken (Fig. 33) nach der Richtung der Tangente und zwar die Kraft *P* am Umfange des Rades und die Last *Q* am Umfange der Welle, und suchen das Wellrad im entgegengesetzten Sinne zu drehen. — Wegen der starren Verbindung der Welle mit dem Rade kann man Kraft und Last in einer und derselben Durchschnittsebene liegend annehmen und die Wirkung auf einen in *C* unterstützten Hebel *ACB* zurückführen. Also müssen für den Zustand des Gleichgewichtes die Drehungsmomente gleich sein

Fig. 33.



$$P \,.\, AC = Q \,.\, BC, \text{ d. i.}$$
$$P : Q = BC : AC.$$

Im Zustande des Gleichgewichtes verhält sich die Kraft zur Last, wie der Halbmesser der Welle zum Halbmesser des Rades. Weil ferner die Proportion besteht

$$P : Q = 2\pi\, BC : 2\pi\, AC,$$

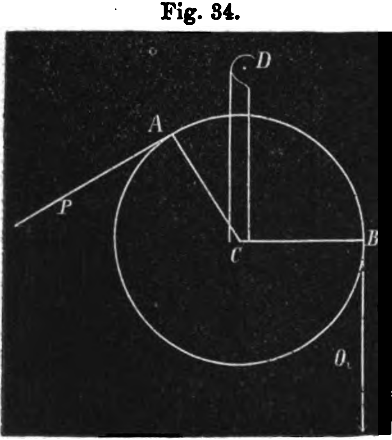
so kann man auch sagen: die Kraft verhält sich zur Last, wie der Umfang der Welle zum Umfange des Rades. — Die Umfänge stellen aber die gleichzeitigen Wege dar, folglich verhalten sich die Kräfte verkehrt, wie ihre Wege.

Das Wellrad hat vor dem Hebel den Vortheil, dass an ihm eine ununterbrochene Bewegung möglich ist; dadurch wird es möglich, Lasten aus bedeutenden Tiefen heraufzuheben; z. B. Wasser aus Brunnen. Das Wellrad erscheint in mehrfachen Formen: als Kurbel, Hornhaspel, Kreuzhaspel, Baumwinde, Wasserrad, Uhrrad etc.

Aufgabe. Der Halbmesser des Wellrades ist 10mal grösser als der der Welle, wie gross ist die Kraft P, die der Last $Q = 4$ Ztr. das Gleichgewicht hält? — Wie gross ist der Weg der Kraft, wenn die Last 1 Meter hoch gehoben wird? — Wie gross ist die Arbeit, welche die Kraft geleitet hat, und wie gross die beim Heben der Last verrichtete Arbeit?

§. 14. Gleichgewicht der Kräfte an der Rolle. Die Rolle ist eine kreisrunde Scheibe, um eine durch ihren Mittelpunkt gehende Axe drehbar, am Umfange mit einer Rinne versehen zur Aufnahme eines Seiles (Schnur, Kette). Die Axe wird von dem sogenannten Kloben getragen. Ist die Rolle nur um ihre Axe drehbar, so heisst sie fix, beweglich aber, wenn sie zugleich ihren Ort ändern kann.

Fig. 34.



a) An der fixen Rolle (Fig. 34) wirken Kraft und Last an den Enden eines und desselben Seiles und suchen sie in entgegengesetzter Richtung um C zu drehen, daher ist nach den Gesetzen des Hebels im Zustande des Gleichgewichtes

$$P \cdot AC = Q \cdot BC,$$

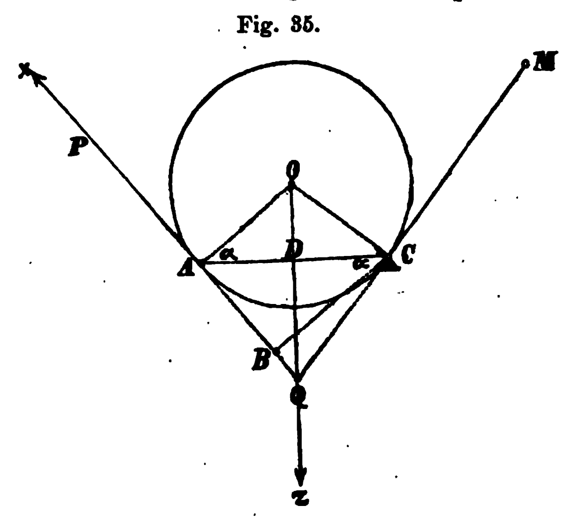
weil $AC = BC$, so ist auch $P = Q$ und es findet kein Klaftereresparniss statt; ihre Anwendung bringt nur dort einen Vortheil, wo man der Kraft eine andere Richtung zu geben hat, z. B. zum Heben der Lasten auf bedeutende Höhen.

b) Bei der beweglichen Rolle (Fig. 35) zieht die Last im Mittelpunkte derselben vertical abwärts. An dem einen Ende ist das Seil befestigt, an dem andern wirkt die Kraft aufwärts.

Soll die Last Q von der nach x wirkenden Kraft P (Fig. 35) im Gleichgewichte gehalten werden, so muss die Resultirende der beiderseitig gleichen Spannungen P des Seiles der Last Q gleich und gerade entgegengesetzt sein, d. h. die Resultirende der beiden

Spannungen muss auch durch den Mittelpunkt O der Rolle vertical aufwärts gehen. Weil die Resultirende gleicher Componenten den Winkel, unter welchem die Componenten wirken, halbirt, und die Richtungen der Kraft und Last durch O gehen und einander gerade entgegengesetzt sein müssen, so muss auch die Richtung der Last Q den Winkel AQC, folglich auch den Winkel AOC und die Sehne AC halbiren und auf AC senkrecht stehen. Denkt man sich in C einen Unterstützungspunkt, so hat man einen einarmigen Hebel AC, und es ist im Zustande des Gleichgewichtes, wenn BC auf der Richtung der Kraft P senkrecht steht,

Fig. 35.



$$P : Q = CD : BC.$$

Nun sind AO und BC parallel, und die Dreiecke ABC und ADO ähnlich, somit

$$AC : BC = AO : AD \text{ oder weil } AC = 2CD$$
$$CD : BC = AO : 2AD, \text{ daher}$$
$$P : Q = AO : AC,$$

d. h. an der beweglichen Rolle herrscht, abgesehen von der Reibung, Gleichgewicht, wenn sich die Kraft zur Last verhält, wie der Radius der Rolle zur Sehne des vom Seile umspannten Bogens.

Für den Fall, wenn AC gleich wird dem Durchmesser, besteht die Proportion

$$P : Q = 1 : 2,$$

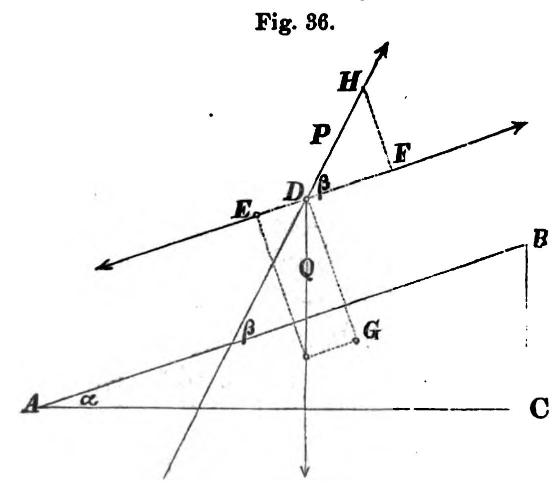
d. h. $P = \frac{Q}{2}$, wenn die halbe Scheibe vom Seile umfasst wird und die Enden des Seiles parallel laufen. — AC kann

aber auch $= AO$ sein, d. i. wenn der umspannte Bogen 60° zählt, und in diesem Falle wäre $P = Q$. Wie in andern Fällen?

§. 15. **Gleichgewicht der Kräfte auf einer schiefen Ebene.** Jede feste Ebene, welche gegen eine horizontale Ebene geneigt ist, nennt man eine schiefe Ebene. Man nennt BC die Höhe, AB die Länge und AC die Basis, α den Neigungswinkel der schiefen Ebene.

ABC (Fig. 36) stellt den verticalen Durchschnitt einer schiefen Ebene dar, auf welcher ein Körper durch eine Kraft P im Gleichgewichte erhalten wird. Von der Reibung wird, wie vorher so auch hier, ganz abgesehen. D sei der Schwerpunkt des Körpers, β der Winkel zwischen der schiefen Ebene und der Richtung der Kraft, α der Neigungswinkel und DH stelle die Kraft vor. Von dem längs einer Verticalen wirkenden Gewichte Q des Körpers wird die auf der Ebene AB senkrecht stehende Componente DG durch den Widerstand der schiefen Ebene aufgehoben, während die mit der Ebene parallele Componente $DE = Q \sin \alpha$ noch wirksam bleibt und den Körper längs der schiefen Ebene herabzieht. Soll nun der Körper durch eine Kraft auf der schiefen Ebene im Gleichgewichte erhalten werden, so muss der von dieser Kraft auf die Richtung EF entfallende Theil oder die Projection DF der Kraft gleich DE sein, denn dann heben sich die zwei in gerade entgegengesetzter Richtung auf D wirkenden gleichen Kräfte gegenseitig auf. Nun ist

Fig. 36.



$$DE = Q \,.\, \sin \alpha \quad \text{und}$$
$$DF = P \,.\, \cos \beta, \text{ folglich für } DF = DE \text{ auch}$$

$$P \cos \beta = Q \sin \alpha \quad \text{oder}$$
$$P : Q = \sin \alpha : \cos \beta.$$

Im Zustande des Gleichgewichtes auf der schiefen Ebene verhält sich also die Kraft zur Last, so wie der Sinus des Neigungswinkels der schiefen Ebene zu dem Cosinus des von der Richtung der Kraft und der schiefen Ebene eingeschlossenen Winkels.

Wirkt in einem speciellen Falle die Kraft parallel zur Länge oder zur Basis der schiefen Ebene, so hat man nur nöthig für β die betreffenden Werthe o oder α zu substituiren, woraus folgt

$$P : Q = \sin \alpha : 1 = BC : AB \ldots (1) \quad \text{und}$$
$$P : Q = \sin \alpha : \cos \alpha = BC : AC \ldots (2),$$

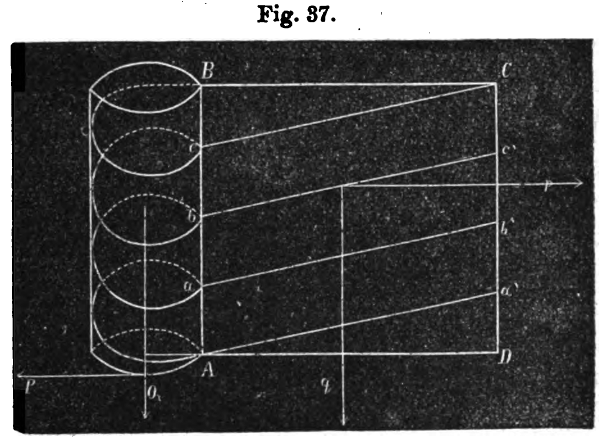
d. h. wirkt *(1)* die Kraft parallel zur Länge der schiefen Ebene, so verhält sich im Zustande des Gleichgewichtes die Kraft zur Last, wie die Höhe der schiefen Ebene zur Länge, und wirkt *(2)* die Kraft parallel zur Basis, so verhält sich die Kraft zur Last, wie die Höhe zur Basis.

Aufgabe. Wie gross muss die parallel mit der Basis wirkende Kraft sein, um an einer schiefen Ebene, deren Neigungswinkel 30° ist, einer Last von 200 ℔ das Gleichgewicht zu halten?

Die schiefe Ebene wird häufig als Maschine gebraucht; so werden schwere Fässer an schiefen Ebenen auf Wagen geladen und abgeladen, Schiffe vom Stapel gelassen oder an das Ufer gezogen etc.

§. 16. **Gleichgewicht der Kräfte an der Schraube.** Um die Schraube zu begreifen, denken wir uns von einem geraden Cylinder die Oberfläche abgewickelt (Fig. 37), theilen die Höhe des Cylinders und auch die der abgewickelten Oberfläche *ABCD* in mehrere gleiche Theile: $Aa = ab = bc = cB$, und $Aa = Da' = a'b' = b'c' = c'C$, verbinden Aa', ab', bc', cC und legen die Oberfläche

Fig. 37.



wieder um den Cylinder, so geht jetzt eine schiefe Linie in mehreren Windungen stets in gleicher Neigung um den Cylinder herum, diese nennt man die Schraubenlinie und seinen Umfang den Schraubengang. Wird längs der Schraubenlinie eine Furche eingeschnitten, so entsteht eine Schraube. Die Schraube besteht aber aus zwei Theilen, der Schraubenspindel und der Schraubenmutter. Die Schraubenspindel ist ein solider, die Schraubenmutter ein hohler Cylinder, an beiden wird eine übereinstimmende Schraubenlinie gezogen, aber während sie an der Spindel erhaben ist, wird sie an der Mutter vertieft eingegraben, so dass der erhabene Gang in den vertieften genau hineinpasst.

Bei der Schraube wirkt die Last als Druck parallel mit der Axe des Cylinders auf jenen Theil der Schraubengänge, wo die Spindel und die Mutter in Berührung stehen. Die Kraft sucht den Cylinder zu drehen und wirkt daher tangentiell am Umfange desselben oder parallel mit der Basis eines Schraubenganges. Da der Schraubengang eine schiefe Ebene ist, so findet die Gleichung (2) des vorigen Paragraphes Anwendung. Nur wirkt nicht die ganze Kraft und Last auf der Ebene eines einzigen Schraubenganges, sondern ihre Wirkungen vertheilen sich so, dass auf jede in Berührung stehende schiefe Ebene der Schraubengänge nur ein aliquoter Theil $\frac{P}{n} = p$ und $\frac{Q}{n} = q$ entfällt, so dass man hat

$$\frac{P}{n} : \frac{Q}{n} = Aa : AD, \quad \text{also}$$

$$P : Q = Aa : AD.$$

Wird die Höhe $Aa = h$ und der Umfang der Spindel $AD = 2r\pi$ gesetzt, so folgt

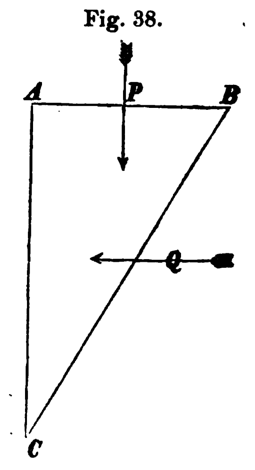
$$P : Q = h : 2r\pi,$$

d. h. die Kraft verhält sich im Zustande des Gleichgewichtes zur Last, wie die Höhe eines Schraubenganges zum Umfange der Schraubenspindel. — Die Reibung ist nicht in die Rechnung gezogen worden. — Ist zum Drehen der Schraube ein Schraubenschlüssel (Hebel) angebracht, so wird dadurch nur die Grösse des Kreisumfanges, den die Kraft bei der Umdrehung beschreibt, geändert und $2\pi R$ sein, daher hat man für diesen Fall $P : Q = h : 2R\pi$.

Die Schraube wird vorzugsweise zum Pressen benützt, zur Vereinigung von Körpern, zur Erzeugung von langsamen, durch die bekannte Höhe h und die Umdrehungen messbaren Bewegungen.

§. 17. **Gleichgewicht der Kräfte am Keile.** Der Keil ist ein dreiseitiges Prisma aus einem harten Stoffe (Holz, Eisen), das mit seiner scharfen Kante zwischen zwei Körper oder zwischen die Theile eines Körpers eingetrieben wird, um sie auseinander zu treiben. Fig. 38 stellt uns einen senkrechten Durchschnitt des einfachen Keiles dar, AB ist der Rücken des Keiles, auf welchen die Kraft P senkrecht stossweise wirkt, AC die Höhe, BC seine Seitenfläche.

Fig. 38.



Denkt man den Keil wie eine schiefe Ebene von der Höhe AB auf den Fussboden gelegt und unter eine Last Q darunter getrieben, so erscheint die Wirkung der Kräfte am Keile auf jenen speciellen Fall der schiefen Ebene zurückgeführt, wo die Kraft parallel mit der Basis wirkt. In diesem Falle findet aber das Verhältniss statt

$$P : Q = AB : AC,$$

d. h. am Keile verhält sich im Zustande des Gleichgewichtes die Kraft zur Last annäherungsweise so, wie die Breite des Rückens zur Höhe des Keiles.

Dieser Satz stimmt dem Wesen nach mit dem in Lehrbüchern für das Gleichgewicht der Kräfte am Keile ausgesprochenen Satze, dass sich die Kraft zur Last verhält, wie der Rücken zur Seite des Keiles. Da die sehr grosse Reibung vernachlässigt wird und die Kraft nicht wie ein Zug, sondern stossweise wirkt, so drückt der Gleichgewichtssatz immer nur eine entfernte Annäherung an das wirkliche Verhältniss der Kräfte aus.

Der Keil wird nicht nur zum Spalten angewendet, sondern auch zum Heben, zum Pressen etc.

§. 18. **Gleichgewicht der Kräfte an der Kniepresse.** Die Kniepresse besteht (Fig. 39) aus zwei festen Stangen AB und BC, in B gelenkig verbunden; die Stange AB ist um den fixen Punkt A drehbar, während sich BC mit ihrem Ende gegen eine horizontale Platte MN stemmt, um einen darunter befindlichen

Körper zusammen zu pressen. — Die Kraft P wirkt in der Richtung nach Bx, die Last Q nach By. Das Gleichgewicht der Kräfte an der Kniepresse ergibt sich auf die einfachste Weise, wenn man sie als einen einarmigen Hebel AB ansieht, wobei B der gemeinschaftliche Angriffspunkt der Kraft und Last ist. Dann sind AE und AD die vom Unterstützungspunkte A auf die Richtungen der Kräfte gefällten Senkrechten, und man hat nach dem Satze des Hebels

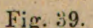
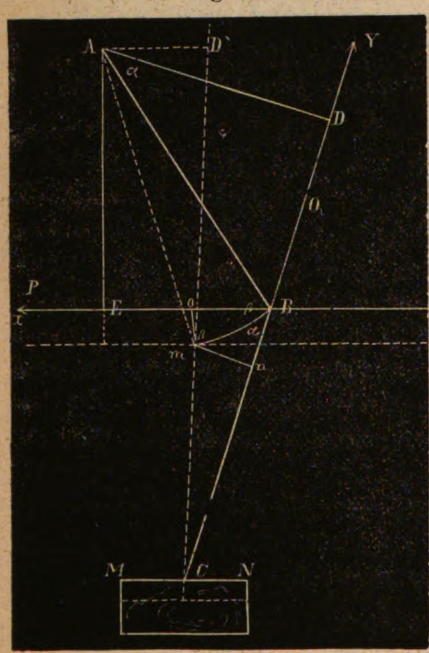


Fig. 39.



$$P : Q = AD : AE.$$

Wird beim Pressen das Knie in der Richtung der Kraft P verschoben, so nimmt die der Kraft proportionale Senkrechte AD ab, während AE zunimmt, und es kann auf den grösser gewordenen Widerstand des theilweise schon zusammengepressten Körpers dieselbe Kraft einen grösseren Druck ausüben. — Die Kniepresse wird angewendet als Siegelpresse, Buchdruckerpresse, Brief-Copiermaschine etc.

§. 19. **Beurtheilung zusammengesetzter Maschinen.** Bei den zusammengesetzten Maschinen greifen die Theile, welche einfache Maschinen sind, meist so in einander, dass die Last an jeder einfachen Maschine für die nächstfolgende als Kraft wirkt. Im Zustande des Gleichgewichtes steht daher die eigentliche Kraft mit der eigentlichen Last in einem zusammengesetzten statischen Verhältnisse. Combiniren wir drei einfache Maschinen mit einander, so ist für die erste P die Kraft, x die Last; für die zweite x die Kraft, y die Last; für die dritte y die Kraft, Q die Last.

Z. B. Die Schraube ohne Ende mit Kurbel und gezähntem Wellrade (Fig. 40). $AC = R$, $BC = R_1$, h die Höhe eines Schraubenganges gleich der Breite eines Zahnes sammt Einschnitt

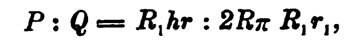
am Wellrade, $DE = r$, $EF = r_1$. Das statische Verhältniss für die Kurbel als einarmigen Hebel ist

$$P : x = R_1 : R;$$

für die Schraube $\quad x : y = h : 2R_1\pi$

und für das Wellrad $\quad y : Q = r : r_1,$

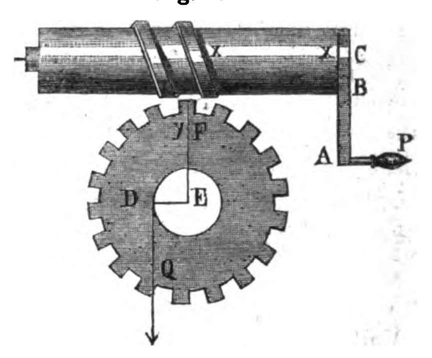
mithin ist im Zustande des Gleichgewichtes



$$P : Q = R_1 hr : 2R\pi\, R_1 r_1,$$

d. h. das statische Verhältniss einer zusammengesetzten Maschine ist gleich dem zusammengesetzten Verhältnisse der statischen Verhältnisse aller einfachen Maschinen.

Fig. 40.



Bezeichnet n die Anzahl der Zähne am Rade, so ist

$$2r_1\pi = nh,$$

mithin im Zustande des Gleichgewichtes an der Schraube ohne Ende

$$P : Q = r : nR. \ldots \text{d. h.?}$$

Bemerkung. Werden einfache Maschinen unmittelbar zur Bekämpfung eines Hindernisses verwendet, so vertheilt sich die Last unter sie und ihre Kräfte addiren sich, wie z. B. am gewöhnlichen Flaschenzug, dessen Berechnung als Beispiel empfohlen wird.

Aufgabe. Mittelst eines gewöhnlichen Flaschenzugs, die Flasche zu 3 Rollen, soll ein Weinfass im Gewichte von 8 Ztr. gehoben werden, wie gross ist die Kraft? Und wie gross ist die Kraft, wenn man dieses Fass mittelst des Potenzen-Flaschenzugs mit 3 beweglichen Rollen hebt?

§. 20. **Leistung der Kräfte an Maschinen.** Die unmittelbare Leistung L einer Kraft ist gleich dem Produkte der Last Q in den Weg s, also $L = Qs$. Wirkt jedoch die Kraft P mittelst einer Maschine auf die Last Q, so muss die Kraft einen so vielmal grössern Weg zurücklegen, so vielmal sie kleiner ist als die Last Q. (Vergleiche den einarmigen Hebel und das Wellrad.) Ist S der Weg der Kraft P und s jener der Last Q, so ist

$$P : Q = s : S, \text{ somit}$$
$$PS = Qs.$$

Nun ist Qs die unmittelbare Arbeit, die eine Kraft ohne Maschine verrichtet, wenn sie die Last Q auf dem Wege s fortschafft; PS aber die Arbeit der Kraft mittelst der Maschine; somit ist die Leistung der Kraft mit der mathematischen Maschine um nichts grösser als ohne Maschine.

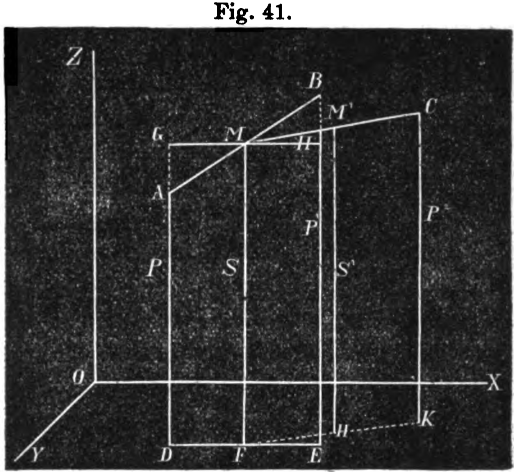
Der Vortheil, den die Maschine bietet, besteht nur darin, dass man mit geringeren Kräften Lasten überwinden kann, die ohne Maschine durch die gegebenen Kräfte nicht zu überwinden sind. Man sieht also, dass keine Maschine im Stande ist, die gegebene Kraft in Bezug auf ihre Leistung wirklich zu erhöhen, in der Art als würde sie eine bewegende Kraft aus sich selbst erzeugen, indem man am Wege, der ein Factor der Arbeitsgrösse ist, das verliert, was man momentan an Kraft erspart. — Aber die wirkliche Maschine gibt in der verrichteten Arbeit nicht einmal die Arbeitsgrösse wieder, die man in sie hineinbringt, denn ein Theil der angewendeten Kraft muss die Maschine in Bewegung setzen, sie in derselben erhalten und alle Hindernisse derselben überwinden, daher kann dieser Theil auf die Last nicht wirken.

Die durch eine Maschine nutzbar gemachte Arbeit oder der Nutzeffect ist also immer kleiner als die wirkliche Leistung der bewegenden Kräfte. — Das perpetuum mobile also unmöglich.

§. 21. **Bestimmung der Lage des Schwerpunktes eines Körpers.** 1. Der Schwerpunkt. Werden mehrere kleine Körper neben einander auf biegsamen Fäden aufgehängt, so zeigen im Zustande des Gleichgewichtes die Fäden sämmtlich eine verticale Richtung, und sind somit parallel. Die auf die Körper wirkenden Kräfte müssen also parallel sein. Denkt man sich diese Körper fest verbunden zu einem ganzen Systeme, so haben wir Einen Körper vor uns, an welchem die einzelnen Theile von parallelen Kräften zur Erde gezogen werden. Die Resultirende muss also gleich sein der Summe dieser parallelen Kräfte; sie drückt den Gesammtzug aus, der von der Erde auf den Körper ausgeübt wird, und in Folge dessen der Körper auf eine horizontale Unterlage einen Druck äussert, den man das absolute Gewicht nennt. Der Angriffspunkt dieser Resultirenden ist der Punkt, in welchem man sich das Gewicht des Körpers vereinig denken kann, und heisst der Schwerpunkt des Körpers.

a) **Die Lage des Mittel- oder Centralpunktes paralleler Kräfte** wird bestimmt durch seine Abstände von drei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen, deren Durchschnittslinien **Coordinatenaxen** genannt werden. E seien (Fig. 41) OX, OY, OZ die Durchschnitts-Linien der Ebenen XOY, YOZ, ZOX. Die Lage der Angriffspunkte der einzelnen Kräfte bezüglich dieser drei Ebenen muss gegeben sein. — Fällen wir von den Angriffspunkten A und B der Kräfte P und P_1 und vom Angriffspunkte M ihrer Resultirenden S Senkrechte $AD = z$, $BE = z_1$, $MF = u$ auf die Ebene XOY, ziehen durch M die Gerade GH parallel zur DE, welche die Fusspunkte der Senkrechten verbindet, und berücksichtigen, dass sich verhält

Fig. 41.



$P : P_1 = BM : AM = BH : AG,$ also

$P \,.\, AG = P_1 \,.\, BH$ und da

$AG = u - z,\ BH = z_1 - u,$ daher

$P \,.\, (u - z) = P_1\,(z_1 - u)$, so erhalten wir $S = P + P_1$ setzend

$S \,.\, u = Pz + P_1 z_1 \,\ldots\, (1).$

Verbindet man noch M mit C als Angriffspunkt einer dritten Kraft P_2, sucht den Angriffspunkt M' der Resultirenden S_1 der Kräfte S und P_2, und berücksichtiget *(1)*, so erhält man den Abstand M' von XOY mit u_1 bezeichnend

$$S_1 u_1 = Su + P_2 z_2 = Pz + P_1 z_1 + P_2 z_2$$

und so allgemein für die Endresultirende R mit dem Abstande z^1 von der Ebene XOY:

$Rz^1 = Pz + P_1 z_1 + P_2 z_2 + P_3 z_3 + \ldots = \Sigma\,(Pz)$

und so bezüglich der andern Ebenen

$Ry^1 = Py + P_1 y_1 + P_2 y_2 + P_3 y_3 + \ldots = \Sigma\,(Py)$ $\ldots\ (2).$

$Rx^1 = Px + P_1 x_1 + P_2 x_2 + P_3 x_3 + \ldots = \Sigma\,(Px),$

$R = P + P_1 + P_2 + P_3 + \ldots = \Sigma\,(P)$

Aus den drei Gleichungen lassen sich die drei Werthe für x^1, y^1, z^1 berechnen, und die Lage des Mittelpunktes ist rücksichtlich der drei rechtwinkeligen Coordinatenebenen vollkommen bestimmt.

Das Produkt der Stärke einer Kraft in die Entfernung ihres Angriffspunktes von irgend einer Ebene nennt man das **Moment der Kraft in Beziehung auf diese Ebene.** Demnach drücken die drei Gleichungen *(2)* aus, dass das Moment der Resultirenden paralleler Kräfte bezüglich einer Ebene gleich ist der Summe der Momente dieser Kräfte bezüglich derselben Ebene.

b) Anwendung zur Bestimmung des Schwerpunktes. Beziehen wir die Lage des Schwerpunktes auf drei rechtwinkelig auf einander stehende Ebenen und nennen die Kräfte, mit denen seine materiellen Theilchen zur Erde gezogen werden, P, P_1, P_2, P_3 etc. und die Resultirende R, so geben die drei Gleichungen *(2)* die Lage des Angriffspunktes der Resultirenden R, also auch die Lage des Schwerpunktes an:

$$x' = \Sigma\,(Px) : \Sigma\,(P)$$
$$y' = \Sigma\,(Py) : \Sigma\,(P)$$
$$z' = \Sigma\,(Pz) : \Sigma\,(P).$$

Da sich die Massen so verhalten wie die Gewichte P, so kann man auch schreiben

$$\left.\begin{aligned} x' &= \frac{mx + m_1x_1 + m_2x_2 + \ldots}{m + m_1 + m_2 + \ldots} = \frac{\Sigma\,(mx)}{\Sigma\,(m)} \\ y' &= \frac{my + m_1y_1 + m_2y_2 + \ldots}{m + m_1 + m_2 + \ldots} = \frac{\Sigma\,(my)}{\Sigma\,(m)} \\ z' &= \frac{mz + m_1z_1 + m_2z_2 + \ldots}{m + m_1 + m_2 + \ldots} = \frac{\Sigma\,(mz)}{\Sigma\,(m)} \end{aligned}\right\} (3).$$

Aus diesen Gleichungen *(3)* ist zu ersehen, dass die Lage des Schwerpunktes nur von der Vertheilung der Masse abhängig und der Schwerpunkt zugleich Mittelpunkt der Masse ist.

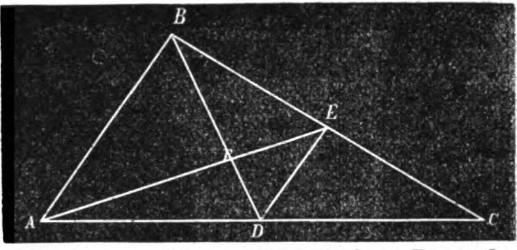
2. Den Schwerpunkt einer gleichmässig dichten Linie kann man ohne Rechnung finden, indem man überlegt, dass ihre materiellen Theile um die Mitte symmetrisch vertheilt sind, daher die Resultirende der Zugkräfte zur Erde von je zwei von der Mitte derselben gleich weit entfernten Theilchen in ihren Mittelpunkt fällt. Die Gesammtresultirende hat in der Mitte den Angriffspunkt, d. h. der Schwerpunkt liegt in ihrem Mittelpunkte.

Mit Hilfe des Schwerpunktes der Linie kann man für viele im praktischen Leben vorkommende Fälle den Schwerpunkt auf eine elementar-mathematische Weise bestimmen.

3. Schwerpunkt eines materiellen Dreieckes. Denken wir uns Fig. 42 die Fläche des Dreieckes wäre materiell und theilen sie in Gedanken durch gerade Linien parallel zu der Seite AC in lauter unendlich dünne Streifen, d. i. physische Linien, so liegt der Schwerpunkt jedes Streifens genau in seiner Mitte. Verbindet man B mit dem Halbirungspunkte D der Linie AC, so halbirt BD alle zu AC parallelen Linien, und enthält somit die Schwerpunkte aller Streifen, mithin auch den Schwerpunkt des

ganzen Dreieckes. Genau so erhält man die Linie AE, in der auch der Schwerpunkt des Dreieckes liegt. Die Linien AE und BD haben aber F zu ihrem gemeinschaftlichen Durchschnittspunkte, weil der Schwerpunkt in beiden zugleich liegt, so muss er im Durchschnittspunkte F liegen. Zur Bestimmung des Schwerpunktes F dienen die zwei ähnlichen Dreiecke ABF und DEF, denn es ist

Fig. 42.

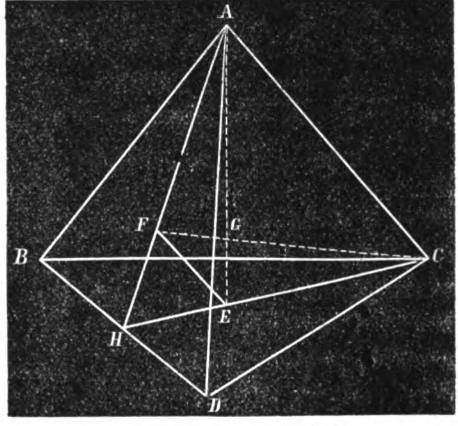


$$BF : DF = AB : DE = 2 : 1 \text{ oder}$$
$$BD : DF = 3 : 1$$
$$DF = \frac{BD}{3}.$$

Theilt man also eine Linie, welche den Halbirungspunkt der Seite mit dem gegenüber liegenden Eckpunkte verbindet, in drei gleiche Theile, so ist der dem Halbirungspunkte zunächst liegende Theilungspunkt der Schwerpunkt.

4. Um den Schwerpunkt eines beliebigen Vieleckes zu finden, zerlegt man es in Dreiecke und sucht den Schwerpunkt eines jeden dieser Dreiecke. In den Schwerpunkten der einzelnen Dreiecke hat man nun Angriffspunkte paralleler Kräfte, welche proportional sind den Flächen der Dreiecke, und man hat nur nöthig, den Mittelpunkt paralleler Kräfte zu suchen, um den Schwerpunkt zu erhalten.

Fig. 43.



5. Schwerpunkt einer dreiseitigen Pyramide. Halbirt man (Fig. 43) die Seite BD in H, nimmt $HE = \frac{CH}{3}$, so ist E

der Schwerpunkt der Seitenfläche BCD, und nimmt man $HF = \frac{HA}{3}$, so ist F der Schwerpunkt der Seitenfläche ABD. — Denkt man sich die Pyramide durch unendlich nahe aneinander liegende parallel zu BCD und dann zu ABD geführte Schnitte in physische Dreiecke zerschnitten, so geht die Linie AE durch die Schwerpunkte der ersten und FC durch die Schwerpunkte der zweiten Schnitte, mithin ist ihr Durchschnittspunkt G der Schwerpunkt der Pyramide. Da wegen der gemachten Abschnitte FE parallel ist zu AC, so verhält sich

$FE : AC = 1 : 3$, und weil $\triangle FEG \sim ACG$, so auch

$FE : AC = EG : AG = 1 : 3$ oder

$AE : EG = 4 : 1$, mithin ist

$$EG = \frac{AE}{4} \ldots \text{d. h.?}$$

6. Aus den beispielsweise angeführten Fällen ersieht man das Verfahren zur Auffindung des Schwerpunktes der Flächen und Körper. Zur Richtschnur diene noch die Erinnerung, dass der Schwerpunkt bei gleichförmiger Dichte zugleich der geometrische Mittelpunkt des Körpers ist, woraus sich die Schwerpunkte sowohl aller regelmässigen Figuren, z. B. des Parallelogramms, eines regulären Vieleckes, einer Kreisfläche, einer Ellipse etc., als auch aller symmetrischen Körper, z. B. der Kugel, des Cylinders, des Prisma etc., mit Leichtigkeit ergeben, ob nun der symmetrische Körper einen Symmetriepunkt, wie die Kugel, eine Symmetrielinie, wie der Cylinder, oder endlich eine Symmetrieebene hat.

7. Der praktischen oder empirischen Methoden zur Ermittelung des Schwerpunktes gibt es zwei: 1. die Methode des zweimaligen Aufhängens und 2. die des Hin- und Herverschiebens auf einer Kante. Diese finden vorzugsweise bei unregelmässig gestalteten oder ungleich dichten Körpern ihre Anwendung.

Von der Lage des Schwerpunktes hängt ab

§. 22. **Das Gleichgewicht und die Standfähigkeit oder Stabilität des Körpers.** Ein Körper ist im Gleichgewichte, wenn er in der Richtung der durch einen Schwerpunkt gezogenen Verticallinie, Directionslinie genannt, unterstützt oder aufgehängt ist, denn der Zug seines Gewichtes wird durch den fixen Punkt aufgehoben und unwirksam gemacht.

Das Gleichgewicht eines Körpers heisst **sicher** oder **stabil**, wenn jede Verrückung des Körpers den Schwerpunkt zunächst höher stellt, z. B. beim Pendel; es heisst **unsicher** oder **labil**, wenn die kleinste Verrückung desselben den Schwerpunkt in eine tiefere Lage bringt, z. B. bei einem hohen aufrechtstehenden Cylinder. Die Masse des Körpers hat nämlich das Bestreben, so tief als möglich zu liegen, daher sinkt der Körper im ersten Falle in seine Lage zurück, im zweiten sucht er aber zu fallen. Ruht der Körper aber derart, dass bei einer Verschiebung desselben sein Schwerpunkt **weder höher noch tiefer** zu liegen kommt, so sagt man, er befindet sich im **indifferenten Gleichgewichte**, wie z. B. Wagenräder.

Die Kraft, mit welcher ein ruhender Körper seine Gleichgewichtslage zu behaupten strebt, wird gemessen durch den Widerstand, den er einer Kraft entgegensetzt, die ihn um eine Kante der Basis umzuwerfen sucht, und heisst die **Standfähigkeit** oder **Stabilität** des Körpers.

Fig. 44.

Suchen wir die Standfähigkeit und bemerken, dass die den **Widerstand** überwindende Kraft P (Fig. 44) so beschaffen sein muss, dass sie mit seinem Gewichte Q eine Resultirende R gibt, die durch die Kante A geht, denn dann reicht die geringste Vermehrung derselben hin, um den Körper fallen zu machen, da die Resultirende endlich ausser der letzten Stütze A hinausfällt. Die allgemeine Eigenschaft jedes Punktes der Resultirenden anwendend, hat man

$$P : Q = dm : fm = AB : AC \text{ oder}$$

$$P . = Q . \frac{AB}{AC},$$

d. h. die Standfähigkeit ist desto grösser, je grösser das Gewicht

des Körpers, je weiter von der Kante die Dierectionslinie entfernt ist und je tiefer der Schwerpunkt desselben liegt.

Bauwerke und Geräthschaften müssen mit Rücksicht auf ihre Standfähigkeit ausgeführt werden, ja unser Körper selbst fügt sich beim Gehen und beim Tragen der Lasten den Gesetzen derselben.

Dritter Abschnitt.

Von der Bewegung im Allgemeinen.

§. 23. Die **Dynamik** entwickelt die Gesetze der Bewegungen, in welche die in der Natur vorkommenden Körper versetzt werden können. Jede Bewegung, so wie jede Aenderung derselben setzt die Einwirkung einer Kraft voraus, denn dem allgemeinen Beharrungsvermögen zufolge kann ein Körper weder den Zustand der Ruhe noch den der Bewegung selbst ändern.

Umstände der Bewegung. Bei jeder Bewegung kommt in Betracht 1. das Bewegliche; 2. die bewegende Kraft; 3. die Richtung der Bewegung; 4. die Gestalt der Bahn; 5. die Länge der zurückgelegten Bahn, d. i. der Weg; 6. die Dauer der Bewegung; 7. die Geschwindigkeit.

Die bewegende Kraft oder die Ursache der Bewegung kann auf den Körper entweder nur einen Augenblick einwirken, wie z. B. ein Stoss, ein Schlag, und dann heisst die Kraft eine momentane; oder die Kraft wirkt während einer messbaren Zeit und heisst dann continuirlich, z. B. ein Zug, ein Druck. Eine continuirliche Kraft behält entweder während der Einwirkung unverändert ihre Stärke bei, wo sie dann eine constante genannt wird, oder sie ändert ihre Stärke und heisst eine variable Kraft.

Die Bewegung ist rücksichtlich ihrer Bahn entweder geradlinig oder krummlinig, und rücksichtlich ihrer Geschwindigkeit wird sie entweder gleichförmig oder ungleichförmig genannt. Geradlinig, wenn sie stets dieselbe Richtung behält, krummlinig, wenn sie die Richtung ändert. Die Tangente der Bahn gibt die Richtung an. Gleichförmig heisst

eine Bewegung, die während der ganzen Dauer mit derselben Geschwindigkeit vor sich geht, ungleichförmig, wenn sich die Geschwindigkeit ändert. Erfolgt in gleichen Zeiten ein gleicher Zuwachs oder eine gleiche Abnahme an Geschwindigkeit, so heisst die Bewegung im ersten Falle eine gleichförmig beschleunigte, im zweiten aber eine gleichförmig verzögerte. Wird Zuwachs und Abnahme ungleich, so nennt man sie eine ungleichförmig beschleunigte oder eine ungleichförmig verzögerte Bewegung.

§. 24. **Gleichförmige Bewegung.** Das allgemeine Beharrungsvermögen sagt uns, dass ein bewegter Körper weder die Richtung noch die Geschwindigkeit seiner Bewegung ändern kann, daher muss ein Körper, der von einer Kraft in einer gewissen Richtung mit einer bestimmten Geschwindigkeit zur Bewegung gebracht wird, diese nach dem Aufhören der Kraft behalten und sich geradlinig und gleichförmig fort bewegen. Ist c die Geschwindigkeit, d. i. die Länge des in einer Secunde zurückgelegten Weges, so wird der in t Secunden zurückgelegte Weg s ausgedrückt durch

$$s = c \cdot t,$$ daher die Geschwindigkeit

$$c = \frac{s}{t},$$ und die Zeit

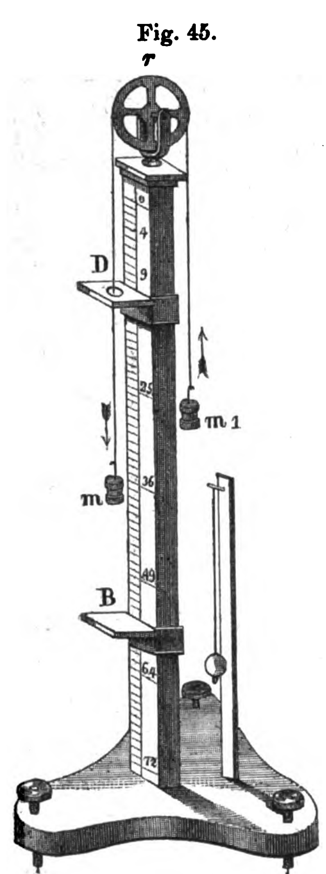
$$t = \frac{s}{c}.$$

In diesen drei Gleichungen sind die Gesetze der gleichförmigen Bewegung enthalten, und gelten abgesehen von der Reibung selbst für den Fall, wenn die durch eine Kraft erzeugte Bewegung krummlinig wäre, wie z. B. in einer Rinne.

§. 25. **Gleichförmig beschleunigte Bewegung.** Aus dem allgemeinen Beharrungsvermögen ergibt sich, dass eine constante Kraft eine gleichförmig beschleunigte Bewegung erzeugt.

1. Um die gleichförmig beschleunigte Bewegung und ihre Gesetze leicht beobachten zu können, bedient man sich der Fallmaschine von Atwood (Figur 45). Schlingt man um das leicht bewegliche Rädchen einen leichten Faden, dessen Enden gleiche Gewichte tragen, so ist Gleichgewicht vorhanden.

Fig. 45.



Legt man aber auf einer Seite ein kleines Zuleggewicht hinzu, so beginnt das vermehrte Gewicht zu fallen. Das Uebergewicht stellt eine constante Kraft vor. Weil das fallende Gewicht das am andern Ende hängende Gewicht hinaufziehen und arbeiten muss, so bleibt ihm zur Fortzetzung der Bewegung nur ein Bruchtheil seiner freien Fallgeschwindigkeit. Der Fall geht so langsam vor sich, dass auch der Widerstand der Luft, welcher bei der schnellen Bewegung des freien Falles in der Art eines Windstosses hinderlich wirkt, hier nicht merklich ist. Ein frei fallender Stein fällt zu schnell, an der Fallmaschine aber sieht man ein Gewicht so langsam fallen, dass man seinen Lauf mit den Augen verfolgen und die Zeit an einem beigegebenen Secundenpendel beobachten kann.

Wählt man das Zuleggewicht so, dass

der Weg in der ersten Secunde $=$ 1 Zoll ist, so ist
„ „ „ zwei Secunden $= 4 = 2^2$ Zoll,
„ „ „ drei „ $= 9 = 3^2$ „
„ „ „ vier „ $= 16 = 4^2$ „ etc.,

d. h. die ganzen Wege wachsen wie die Quadrate der Zeiten.

Zieht man den Weg der vorhergehenden Secunde von dem Wege der nachfolgenden ab, also $4-1=3$; $9-4=5$; $16-9=7$ etc., so sieht man, dass die Wege in den einzelnen Secunden so wachsen, wie die ungeraden Zahlen: 1, 3, 5, 7, 9, 11 u. s. w. Der Zuwachs an Geschwindigkeit von Secunde zu Secunde, d. i. die Acceleration beträgt bei diesem Versuche 2 Zoll; denn $3-1=2$, $5-3=2$, $7-5=2$ etc.

a) **Endgeschwindigkeit.** Ertheilt die Kraft dem Körper in einer Secunde die Geschwindigkeit g, und dauert ihre Einwirkung mit unveränderlicher Stärke $2, 3, \ldots t$ Secunden fort, so hat der Körper $2g, 3g \ldots tg$ Geschwindigkeit erhalten. Der in jeder Secunde erfolgte Zuwachs g heisst **Acceleration** oder **Beschleunigung** und die in t Secunden auf tg angewachsene Geschwindigkeit wird **Endgeschwindigkeit** v genannt, also

$$v = gt \ldots (1).$$

Würde der Körper gleichzeitig durch eine momentane Kraft die Geschwindigkeit c erhalten haben, so wäre die Endgeschwindigkeit

$$v_1 = gt + c.$$

b) **Weg bei der gleichförmig beschleunigten Bewegung.** Man denke sich die constante Kraft durch eine Reihe gleicher Stösse ersetzt, welche regelmässig nach Verlauf der beliebig kleinen Zeit τ auf einander folgen; in der Zwischenzeit τ ist das Bewegliche sich selbst überlassen. — Der erste Stoss erzeugt eine Geschwindigkeit c, jeder folgende auch c, folglich ist die Geschwindigkeit nach dem zweiten Stosse $2c$, nach dem dritten Stosse $3c$ u. s. w.

Also ist der im	ersten τ	zurückgelegte	Weg $\sigma_1 = c\tau$
„	zweiten τ	„	„ $\sigma_2 = 2c\tau$
„	dritten τ	„	„ $\sigma_3 = 3c\tau$
„	— —	—	— — — —
„	n-ten τ	„	„ $\sigma_n = nc\tau$.

Somit ist der ganze Weg s in der beliebigen Zeit $t = n\tau$

$$s = c\tau\,(1 + 2 + 3 + 4 + \ldots + n) = c\tau\,(1 + n)\,\frac{n}{2}, \text{ oder}$$

$$s = \frac{cn}{2}\,(\tau + t).$$

Nun ist $nc = v$ die Endgeschwindigkeit nach Verlauf von t Secunden, und τ verschwindet bezüglich t, was bei einer continuirlichen Kraft der Wirklichkeit genau entspricht, daher

$$s = \frac{v}{2}\,.\,t; \text{ und da } v = gt, \text{ so}$$

$$s = \frac{gt^2}{2} \ldots (2),.$$

d. h. der Weg bei einer gleichförmig beschleunigten Bewegung ist gleich der halben Acceleration multiplicirt mit dem Quadrate der in Secunden ausgedrückten Zeit.

Hätte auf den Körper zugleich eine momentane Kraft eingewirkt und ihm die Geschwindigkeit c ertheilt, so würde er einen Weg s_1 zurückgelegt haben

$$s_1 = ct + \frac{gt^2}{2}.$$

a) Aus (2) folgt $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$,

b) Aus (1) und (2) folgt:

$$v = \sqrt{2gs}, \text{ daher}$$

$$s = \frac{v^2}{2g}.$$

Aufgabe. 1) Ein Thurm ist 75° hoch, in welcher Zeit fällt ein Stein von der Spitze herab, und mit welcher Endgeschwindigkeit kommt er am Boden an?

2) Wie tief ist ein Brunnen, wenn man einen hineinfallenden Stein nach t Secunden am Grunde auffallen hört?

§. 26. **Dynamische Messung der Kräfte.** a) Das Maass einer momentanen Kraft. Da Kräfte nur nach ihren Wirkungen gemessen werden können, so vergleichen wir die durch zwei Kräfte erzeugten Bewegungen. Eine momentane Kraft P versetze die Masse M in eine Bewegung mit der Geschwindigkeit C, eine andere Kraf p aber die Masse m mit der Geschwindigkeit c; so haben wir zwei Reihen zusammengehöriger Grössen

$$P, \ M, \ C$$
$$p, \ m, \ c.$$

Nun ist eine Kraft 2, 3 ... mal grösser, wenn sie einer 2, 3 ... mal grössern Masse in derselben Zeit dieselbe Geschwindigkeit ertheilt; bewegt sie aber eine und dieselbe Masse, so muss die Kraft wieder desto grösser sein, eine je grössere Geschwindigkeit sie derselben Masse in derselben Zeit zu ertheilen im Stande ist; also hat man für die Kräfte das zusammengesetzte Verhältniss

$$\frac{P : p = \begin{cases} M : m \\ C : c \end{cases}}{P : p \;=\; MC : mc,}$$

d. h. eine momentane Kraft ist proportional dem Produkte der in Bewegung versetzten Masse in die Geschwindigkeit derselben. — Setzt man jene $p = 1$, welche der $m = 1$ die $c = 1$ ertheilt, so ist das Maass für eine momentane Kraft:

$$P = MC.$$

Das Produkt MC heisst die Grösse der Bewegung der Masse M.

b) Das Maass einer constanten Kraft. Da sich die Wirkung einer continuirlichen Kraft dadurch charakterisirt, dass sie dem Beweglichen in den einzelnen Secunden einen gleichen Zuwachs G an Geschwindigkeit ertheilt, so muss die Messung mit Rücksicht auf die Acceleration vorgenommen werden. Man hat also ähnlich wie unter a) die zu vergleichenden Grössen

P, M, G
$p, m, g,$ folglich auch hier

$$\frac{P : p = \begin{cases} M : m \\ G : g \end{cases}}{P : p = MG : mg,}$$

Nimmt man jene $p = 1$, die der $m = 1$ die Acceleration $g = 1$ ertheilt, so erhält man als Maass einer constant continuirlichen Kraft den Ausdruck

$$P = MG,$$

d. h. eine constante Kraft ist gleich dem Produkte der Masse in die Acceleration.

Das Gewicht eines Körpers ist auch eine solche constante Kraft; bezeichnet man es mit Q, die Masse des Körpers mit M, und die Acceleration der Schwere mit g, so hat man nach vorstehendem Satze

$$Q = Mg.$$

Daraus folgt die Masse $M = \frac{Q}{g}$, d. h. die Masse eines Kör-

pers ist gleich seinem Gewichte dividirt durch die Acceleration der Schwere.

c) Das Maass einer veränderlichen Kraft. Während einer unendlich kleinen Zeit τ kann man auch eine variable Kraft als constant betrachten; sie bringe in dieser Zeit eine Aenderung γ der Geschwindigkeit hervor, so ist mit der Acceleration verglichen

$$G, 1$$
$$\gamma, \tau, \text{ daher}$$
$$G : \gamma = 1 : \tau \text{ oder}$$
$$G = \frac{\gamma}{\tau},$$

mithin ist für den ins Auge gefassten Augenblick das Maass einer variablen Kraft ausgedrückt durch

$$P = M . \frac{\gamma}{\tau} . \text{ d. h. ?}$$

Beispiel: Auf eine Masse von 50 Pfund wirkt ein constanter Druck von 20 Pfund auf horizontalem Boden, wie gross ist die Beschleunigung, welche diese Masse erhalten kann?

§. 27. **Arbeitsgrösse eines Körpers von der Endgeschwindigkeit v.** Hat eine constante Kraft P auf dem Wege s einen freien Körper fortbewegt, so hat sie ihm eine Endgeschwindigkeit v ertheilt und zwar ist nach §. 25

$$s = \frac{v^2}{2g}; \text{ daher auch}$$

$$gs = \frac{v^2}{2}, \text{ und wenn man mit } M \text{ die Masse}$$

des Körpers bezeichnet $Mg . s = \frac{Mv^2}{2}$.

Nun ist aber $Mg = P$, also $P . s = \frac{Mv^2}{2}$.

Das Produkt Mv^2 nennt man lebendige Kraft; daher sagt diese Gleichung: Die Arbeit einer Kraft, die dem Körper die Endgeschwindigkeit v ertheilt, ist gleich der halben lebendigen Kraft des Körpers. Ein bewegter Körper repräsentirt also eine Arbeit, die gleich ist seiner halben lebendigen Kraft. Vermöge seiner Trägheit muss der Körper diese Arbeit wieder durch Ueberwindung von Widerständen leisten, wenn er zur Ruhe kommen soll.

Aufgabe. 1) Wie gross ist die Leistungsfähigkeit einer Wassermasse von 2 Kubikmeter, wenn sie 10 Meter tief auf ein Mühlrad herabfällt?

2) Wie verhält sich zu dieser Leistungsfähigkeit die Arbeit, welche zum Heben diese Wassermasse auf die ursprüngliche Höhe verwendet werden muss?

3) Einer Masse von 50 Pfund wird die Geschwindigkeit von 10 Fuss ertheilt, welche Arbeit wird dabei verrichtet, oder welche Arbeitsgrösse repräsentirt nun diese Masse? Und welche Arbeit kann sie bei $v = o$ noch leisten?

§. 28. **Zusamensetzung der Bewegungen.** Nehmen wir den allgemeinsten Fall, wo der Körper in zwei einen Winkel einschliessenden Richtungen zur Bewegung angeregt wird. Es seien die diese componirenden Bewegungen erzeugenden Kräfte P und Q, diese mögen gleich- oder ungleichartig sein, so ist doch immer das Verhältniss dieser Kräfte gleich dem Verhältnisse der durch sie erzeugten Geschwindigkeiten, denn es ist

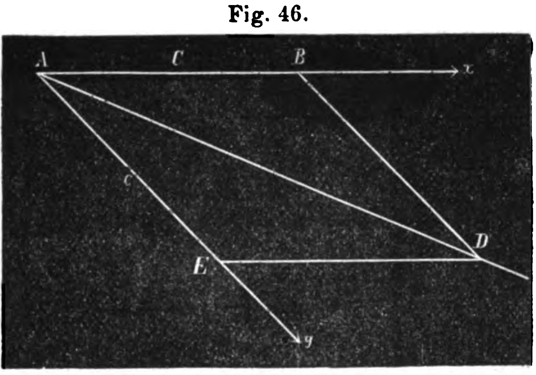
$$1.\ \left.\begin{array}{l} P = MC \\ Q = Mc \end{array}\right\} P : Q = C : c,$$

$$2.\ \left.\begin{array}{l} P = MG \\ Q = Mg \end{array}\right\} P : Q = G : g,$$

$$3.\ \left.\begin{array}{l} P = MC \\ Q = MG \end{array}\right\} P : Q = C : G,$$

daher stellen dieselben Linien, die früher dem Verhältnisse der Kräfte nach abgeschnitten wurden, ebenso gut die Geschwindigkeiten dar, wornach sich das Kräften-Parallelogramm in ein Bewegungs-Parallelogramm verwandelt. — Der Körper wird also zu derselben Zeit, wo er den componirenden Bewegungen folgend in B und E (Fig. 46) anlangen sollte, am Endpunkte der Diagonale des Bewegungs-Parallelogramms in D ankommen.

Fig. 46.

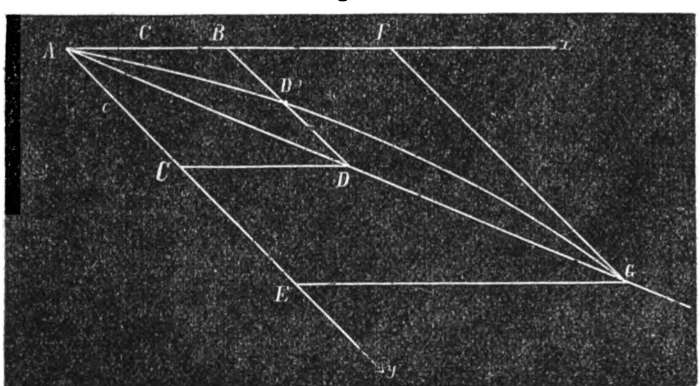


Sind die componirenden Bewegungen nicht geradlinig, wie

z. B. bei der **Drehung um eine Axe**, so bedeuten C und c die nach den Tangenten Ax und Ay gerichteten Geschwindigkeiten, und AD die nach der Tangente der resultirenden Bewegung gerichtete resultirende Geschwindigkeit.

Die resultirende Bewegung zweier gleichzeitigen Bewegungs-Bestrebungen eines Körpers ist also ihrer Grösse und Richtung nach durch die Diagonale des auf den Bewegungsrichtungen verzeichneten Bewegungs-Parallelogramms bestimmt. — Daraus ist das Gesetz für die Zerlegung auch ersichtlich.

Fig. 47.



b) **Gleichartige Kräfte geben eine geradlinige, ungleichartige eine krummlinige Bewegung.** In der Fig. 47 stelle A einen Punkt vor, der gleichzeitig nach den zwei Richtungen Ax und Ay zur Bewegung angetrieben wird, und zwar so, dass A von der nach x gerichteten Bewegung in der Zeit t in B, in der Zeit T in F, und in denselben Zeiten vermöge der nach y gerichteten Bewegung in C und E ankommen sollte.

Sind die Bewegungen hervorgebracht durch momentane Kräfte, so ist

$$AB = Ct \text{ und } AF = CT$$
$$AC = ct \quad AE = cT, \text{ daraus}$$
$$AB : AC = AF : AE \quad \text{oder}$$
$$AB : BD = AF : FG.$$

Diese letzte Proportion setzt aber mit Rücksicht auf die Zeichnung voraus, dass $AFG \backsim ABD$ ist, folglich muss der Punkt

D in der Geraden AG liegen, d. h. die resultirende Bewegung ist geradlinig.

Dieselbe Folgerung ergibt sich bei zwei continuirlichen Kräften, aber nicht mehr bei einer continuirlichen und einer momentanen Kraft, denn da hätte man

$$AB = Ct \text{ und } AF = CT, \quad \text{aber}$$

$$AC = \frac{g}{2}t^2 \quad AE = \frac{g}{2}T^2, \quad \text{daraus}$$

$$AB : AC = C : \frac{gt}{2} \quad \text{und}$$

$$AF : AE = C : \frac{gT}{2}, \quad \text{nun ist aber}$$

$$\frac{gT}{2} > \frac{gt}{2}, \quad \text{daher}$$

$$C : \frac{gt}{2} > C : \frac{gT}{2}, \quad \text{mithin}$$

$$AB : AC > AF : AE, \quad \text{oder}$$
$$AB : BD > AF : FG,$$

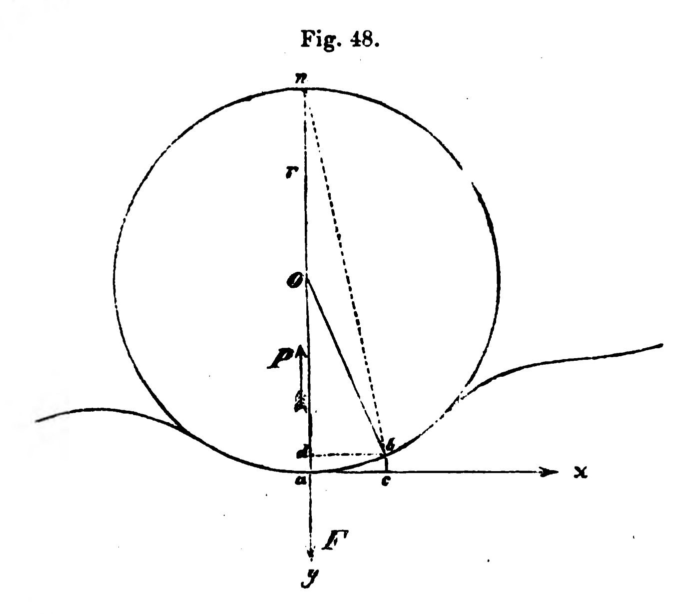
es muss also in diesem Falle der Divisor BD kleiner geworden sein, d. h. D liegt ausserhalb der Diagonale AG und zwar in D' auf der Seite der momentanen Kraft. Das Resultat zweier durch ungleichartige Kräfte hervorgebrachten Bewegungen ist also eine krummlinige Bewegung, und zwar ist die convexe Seite der krummlinigen Bahn $AD'G$ weggekehrt von der continuirlichen Kraft.

§. 29. **Krummlinige Bewegung und Fliehkraft.** Dem allgemeinen Beharrungsvermögen zufolge muss eine continuirliche, den Körper von seiner Richtung fortwährend ablenkende Kraft da sein, wenn er sich krummlinig bewegen soll. Im vorigen Paragraph haben wir erkannt, dass diese ablenkende Kraft mit der bewegenden ungleichartig sein muss. Diese ablenkende Kraft kann aber auch von einem beständigen Hindernisse herrühren, wie dies bei der Bewegung in einer krummen Rinne der Fall ist, deren Widerstand den Körper hindert, sich geradlinig zu bewegen.

Grösse der Fliehkraft. Ein an einem Faden hängender Körper a von der Masse m bewege sich in einem Kreise (Fig. 48)

um den Mittelpunkt. Im Punkte a hat er die Geschwindigkeit v, die Richtung ax. Vom Punkte a legt er in einem unendlich kleinen Zeittheilchen τ einen Bogen ab zurück, der so klein ist, dass wir anstatt des Bogens die Sehne ab nehmen dürfen. Betrachten wir die Sehne ab als Diagonale des Rechteckes $abcd$, so sind ac und ad die Componenten der resultirenden Bewegung ab. Die

Fig. 48.



Componente ad ist der gleichzeitige Weg in der Richtung zum Mittelpunkte; dieser Weg entsteht in Folge des constanten Zuges (Centripetalkraft) P zum Mittelpunkte, daher ist dieser Weg gleich

$$ad = \frac{G\tau^2}{2},$$

wenn G die diesem Zuge entsprechende Beschleunigung bedeutet. Ferner aber ist der gleichzeitige Weg im Kreise

$$ab = v\tau.$$

Nun folgt aus der Geometrie für das rechtwinkelige Dreieck abn das Verhältniss

$$an : ab = ab : ad,$$

oder wenn wir den doppelten Radius $an = 2r$ setzen und die gefundenen Werthe für ad und ab substituiren

$v^2 . \tau^2 = r . G\tau^2$, folglich, wenn man mit m multiplicirt

$$P = mG = \frac{mv^2}{r},$$

d. h. die Centripetalkraft ist gleich der lebendigen Kraft eines Körpers dividirt durch den Krümmungshalbmesser seiner Bahn.

Dieser Centripetalkraft, die im Punkte a nach O zieht, wirkt in gerade entgegengesetzter Richtung ay die Fliehkraft F, die den Faden spannt und vom Mittelpunkte nach y hinzieht. Der Körper kann aber nur dann in der Kreisbahn verbleiben, wenn ihn die Centripetalkraft gerade so stark zum Centrum hinzieht, als ihn die Fliehkraft vom Centrum zu entfernen sucht; daher gibt der letzte Ausdruck auch die Fliehkraft an.

Ist die krummlinige Bahn nicht ein Kreis, sondern eine Ellipse, wie bei der Planetenbewegung, oder aber eine beliebige bogenförmige Bahn, wie an einer Krümmungsstelle der Eisenbahn, so lässt sich für jede Stelle dieser Bahnen der sogenannte Krümmungshalbmesser finden, d. i. der Radius des Berührungskreises an dieser Stelle. Die Fliehkraft ist nun an dieser Stelle dieselbe wie im Berührungskreise, daher hat man in diesem allgemeinen Falle unter r den Krümmungsradius zu verstehen.

Aufgabe. Wie gross ist die Fliehkraft eines Eisenbahnwaggons von 200 Ztr. Gewicht, wenn die Geschwindigkeit des Zuges 30 Fuss und der Krümmungshalbmesser dieser Bahnstelle 50 Klafter beträgt?

a) Geht die Bewegung in einem Kreise vor sich, so ist r der Halbmesser desselben, da bei einem Kreise die Krümmung an allen Stellen gleich gross ist. Heisst t die Zeit, während welcher das Bewegliche im Kreise einen Umlauf macht, so ist $2r\pi = vt$, mithin die Fliehkraft

$$f = \frac{4\pi^2 mr}{t^2}, \text{ d. h.?}$$

Dieses Resultat der Rechnung wollen wir durch nachfolgende Versuche mit der Centrifugalmaschine (Fig. 51) bestätigen.

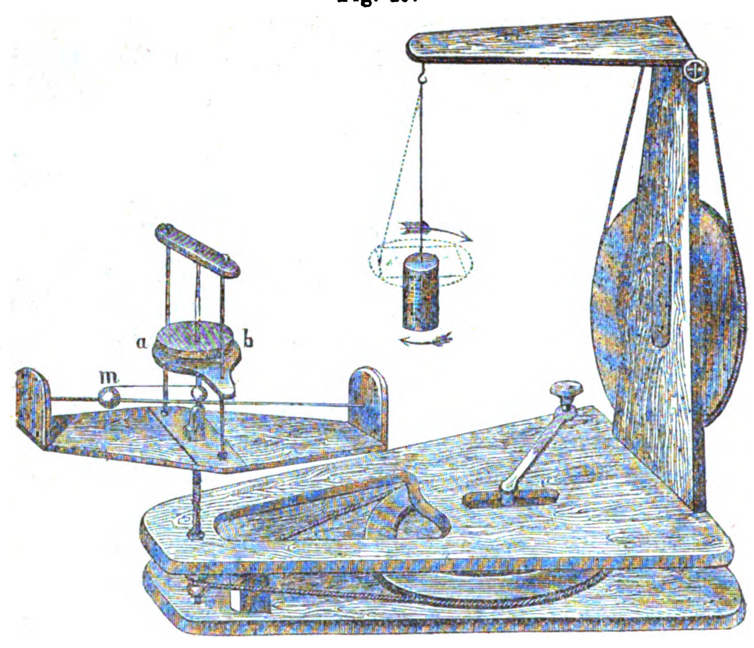
Die Gesetze der Fliehkraft lassen sich mit der sogenannten Centrifugalmaschine (Fig. 49) versinnlichen. Da mit dieser Vorrichtung die Körper in eine rotirende Bewegung versetzt werden, so dient zur Vergleichung der Fliehkräfte die Proportion

$$f : f' = \frac{mr}{t^2} : \frac{m'r'}{t'^2};$$

sind die Umlaufszeiten gleich, so ist

$$f : f' = mr : m'r',$$

Fig. 49.



und damit die Fliehkräfte gleich sind

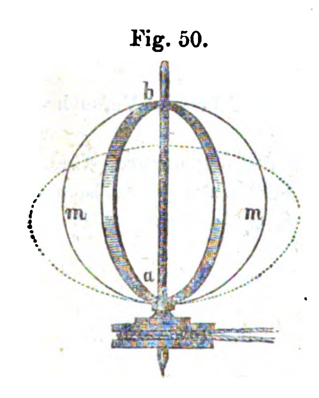
$$mr = m'r' \quad \text{oder}$$
$$m : m' = r' : r,$$

d. i. die Massen müssen sich zu einander verhalten, wie umgekehrt die Halbmesser der Kreise, in denen sie sich bewegen. — Ist $m = m'$ und $t = t'$, so ist

$$f : f' = r : r',$$

d. h. die Fliehkräfte zweier gleichen in Kreisen mit gleichzeitigem Umlauf sich bewegenden Massen verhalten sich wie die Halbmesser dieser Kreise. Nimmt man zu diesem Versuche ein Kugelgerippe (Fig. 50) von biegsamen kreisförmigen Messingstreifen, das mittelst der Centrifugalmaschine um die Axe *ab* in schnell drehende Bewegung versetzt wird, so entwickeln die Theilchen bei *m* wegen ihrer grössten Drehungshalbmesser auch die grössten Fliehkräfte, in Folge deren sich die Theilchen von der Drehungsaxe entfernen und die Kugelgestalt eine abgeplattete Form annimmt. Da sich in Folge der Fliehkraft die Theile möglichst weit von der Drehungaxe zu entfernen suchen, so stellt sich ein langer

Fig. 50.

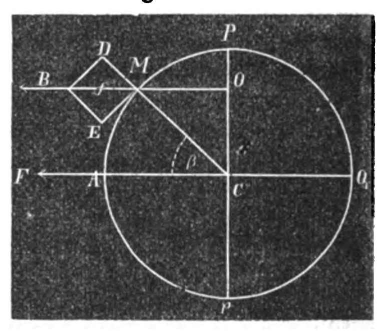


um die grosse Axe zur Rotation angeregter Cylinder nach vorhergehenden Schwankungen selbst gegen den Einfluss der Schwerkraft in eine horizontale Lage und rotirt um die kleine Axe etc.

Gegenwärtig macht man bei der Runkelrüben-Zuckerfabrikation eine wichtige Anwendung von den Fliehkräften, indem man die krystallisirte, von der Mutterlauge stark verunreinigte Zuckermasse in cylindrische Gefässe bringt, deren Wände feine Löcher haben, durch die nur die Theilchen der Mutterlauge entweichen können, wenn sie in Folge der durch schnelle Rotation des Cylinders erhaltenen Fliehkräfte weggetrieben werden; und so bleiben an den Wänden die Krystalle zurück. Auf der Fliehkraft beruht ferner die Centrifugal-Trockenmaschine, das Centrifugalgebläse, die Töpferscheibe, die englischen Centrifugal-Rutschbahnen, die Haltung des Körpers in der Kunstreiterei etc.

§. 30. **Wirkung der Fliehkraft bei der Axendrehung der Erde auf ihre Gestalt und auf die Schwerkraft.** Denken wir uns zuerst die Erde als eine gleichförmig dichte, vollkommene Kugel in Ruhe, so ist ein Körper an jedem Orte der Oberfläche derselben Einwirkung der gesammten Materie der Erde ausgesetzt, denn er ist überall gleichweit von dem Erdmittelpunkte entfernt. In diesem Falle würde also an allen Orten der Erdoberfläche die Schwerkraft mit gleicher Stärke $= K$ auf ihn wirken. Nun dreht sich aber die Erde gleichförmig um ihre Axe Pp (Fig. 51), und es entwickelt sich dabei an allen Orten eine Fliehkraft, die der gegen den Erdmittelpunkt gerichteten Schwerkraft bald mehr bald weniger entgegen wirkt. Am Aequator wirkt die Fliehkraft F in der Verlängerung des Erdhalbmessers, ist also der Schwerkraft gerade entgegengesetzt, daher bleibt daselbst nur noch ein Theil $k = K - F$ thätig. An einem andern beliebigen Orte M

Fig. 51.



von der geographischen Breite $\beta = ACM$ fällt nur eine Componente MD der daselbst herschenden Fliehkraft $f = MB$ in die Richtung des Erdhalbmessers MC und schwächt die Wirkung der Schwerkraft. Da $MD = f \cos \beta$, so ist die daselbst noch thätig bleibende Schwerkraft $k_1 = K - f \cos \beta$. Aber es ist nach dem Gesetze der Fliehkraft bei der Bewegung im Kreise

$$F : f = AC : MO = 1 : \cos\beta, \quad \text{daher}$$
$$f = F \,.\, \cos\beta, \quad \text{mithin}$$
$$k_1 = K - F \cos^2\beta.$$

Hieraus ergibt sich der Unterschied zwischen der am Aequator und in der geographischen Breite β thätig bleibenden Schwerkraft

$$k_1 - k = F\,(1 - \cos^2\beta) = F \sin^2\beta \ldots (1),$$

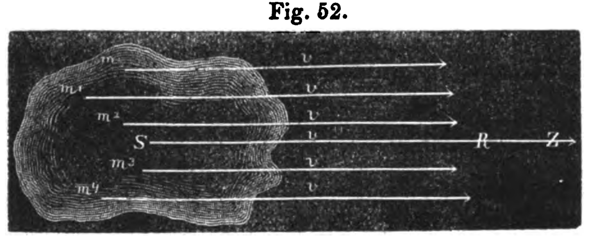
d. h. die wirklich thätige Schwerkraft und folglich auch die Acceleration, nimmt vom Aequator gegen die Pole hin im quadratischen Verhältnisse mit dem Sinus der geographischen Breite zu.

Pendelbeobachtungen verglichen mit dem Ergebnisse der Rechnung zeigen aber eine Differenz der beiderseitigen Resultate, welche daher kommt, dass die Erde keine so volkommene Kugel ist, wie sie der Rechnung zu Grunde gelegt wurde. Die Erde ist nämlich an den Polen abgeplattet, wie jenes rotirende Kugelgerippe (Fig. 50), woraus wir schliessen, dass sie einst sich im weichen Zustande befand, wobei sich die Rotationsaxe verkleinerte, die Aequatoraxe hingegen etwas vergrösserte, und zwar ist ihr Unterschied 5·746 geographische Meilen. Die Erde ist daher ein Sphäroid, und es beträgt der Halbmesser des Aequators 859·436 geographische Meilen, jener der Pole aber 856·594 Meilen. Diese Thatsachen sind durch vorgenommene Meridianvermessungen ausser allen Zweifel gestellt.

Die Veränderung in der Wirkung der Schwerkraft hat auf die Bestimmung des Gewichtes bei den gewöhnlichen Wagen keinen Einfluss, weil die Aenderung im gleichen Maasse sowohl bei dem abzuwägenden Körper als bei dem Gegengewichte stattfindet; wohl aber bei Federwagen, da die Elasticität von der Schwerkraft unabhängig ist, daher erscheint an solchen Wagen das Gewicht eines und desselben Körpers in grösseren Breiten grösser.

§. 31. **Progressive Bewegung.** Die Bewegung eines Körpers nennt man progressiv oder fortschreitend, wenn alle seine Theile in parallelen Richtungen und mit gleicher Geschwindigkeit sich bewegen. Denken wir uns einen

Fig. 52.



Körper M (Fig. 52) in progressiver Bewegung, er habe die Geschwindigkeit v. Da die einzelnen Theile m, m', m'', ... zu einem festen Systeme verbunden sind, so lassen sich die an ihnen wirkenden parallelen Kräfte mv, $m'v$, $m''v$, ... durch eine Resultirende

$$R = \Sigma (mv) = \Sigma (m) \cdot v = M \cdot v$$

ersetzen, die im Mittelpunkt der parallelen Kräfte, d. i. im Schwerpunkte den Angriffspunkt und die Richtung der Componenten hat.

Will man daher einen ruhenden Körper M in eine progressive Bewegung mit der Geschwindigkeit v versetzen, so muss man eine Kraft $R = Mv$ genau auf den Schwerpunkt wirken lassen. Jede Kraft also, deren Richtung durch den Schwerpunkt eines freien Körpers geht, ertheilt demselben eine progressive Bewegung.

Demnach hat man bei fortschreitenden Bewegungen eines festen Körpers nur die Bewegung des Schwerpunktes zu beachten.

Die Gleichung $R = mv + m'v + m''v + m'''v + \ldots = Mv$ sagt uns, dass die Grösse der Bewegung, welche der Mittelpunkt der Masse in irgend einem Augenblicke in der Richtung der Bewegung besitzt, gleich ist der Summe der Bewegungsgrössen der einzelnen Massentheilchen des Körpers Die Bewegungsgrösse des Mittelpunktes der Masse bleibt daher ungeändert, so lange nur solche Aenderungen in der Bewegung der Massentheilchen stattfinden, bei welchen die Summe ihrer Bewegungsgrössen sich nicht ändert. Dies ist nun der Fall, wenn die fortschreitende Masse sich um ihren Mittelpunkt dreht, denn da kommt in irgend einem Augenblicke ein Theilchen ebenso weit hinter den Mittelpunkt, als ein in gleichem Abstande ihm gerade gegenüber liegendes Theilchen vor den Mittelpunkt tritt. Was also das eine Theilchen an Bewegungsgrösse weniger hat als bei einer blos fortschreitenden Bewegung, um dasselbe hat das ihm entsprechende Gegentheilchen mehr, und so bleibt die Summe ihrer Bewegungsgrössen ungeändert; mithin ändert eine Drehung um den Mittelpunkt die Geschwindigkeit desselben nicht.

§. 32. **Drehende oder rotirende Bewegung.** Bleibt während der Bewegung eines Körpers ein mit demselben unveränderlich verbundener Punkt in Ruhe, so sagt man der Körper drehe sich um einen Punkt; bleibt aber eine mit dem bewegten Körper unveränderlich verbundene Linie in Ruhe, so sagt man der Kör-

per drehe sich um eine Gerade, welche dann Drehungsaxe oder schlechtweg Axe heisst.

Bei der Drehung um eine Axe beschreibt jedes Theilchen des Körpers einen auf der Axe senkrecht stehenden Kreis, dessen Mittelpunkt in der Axe liegt und dessen Halbmesser dem Abstande des bewegten Punktes von der Axe gleich ist. Die in derselben Zeit von den einzelnen Theilchen beschriebenen Bögen gehören zu gleichen Centriwinkeln und sind somit ähnlich. Ist φ der Centriwinkel des in der Zeit t zurückgelegten Bogens s und r der Drehungshalbmesser, so ist

$$s = r \cdot \varphi.$$

Wächst die Grösse der Bögen so wie die Zeit, so ist die Bewegung eine gleichförmige, und $\frac{s}{t} = v$ ihre Geschwindigkeit. Aber $\frac{s}{t} = r \cdot \frac{\varphi}{t}$, wo $\frac{\varphi}{t}$ den in der Secunde im Abstande $= 1$ beschriebenen Bogen, also die Geschwindigkeit des Theilchens in dem Abstande $r = 1$ bedeutet, die man Winkelgeschwindigkeit heisst. Bezeichnet man diese mit w, so ist die Geschwindigkeit bei gleichförmiger Rotation

$v = r \cdot w$, der Weg $s = rwt$; und die Kraft der Masse $mp = mrw$.

Aufgabe. Wie gross ist die Rotationsgeschwindigkeit eines Ortes am Aequator um die Erdaxe, der Aequator zu 5400 geogr. Meilen und die Umdrehungszeit der Erde zu 23 St. 56 M. 4 S. mittlerer Sonnenzeit gerechnet?

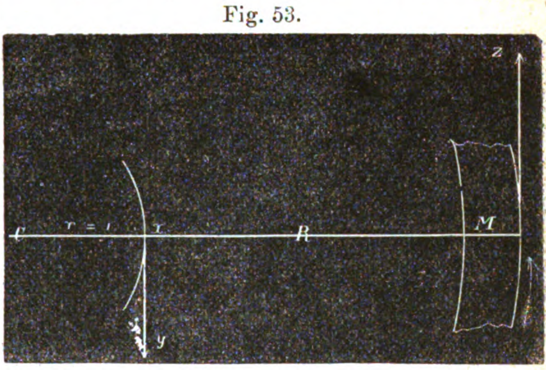
Wirkt auf einen Körper eine Kraft, deren Richtung nicht durch den Mittelpunkt der Masse geht, d. i. excentrisch, so kann nach dem vorigen Paragraph nicht eine ausschliesslich progressive Bewegung erfolgen, sondern der Körper dreht sich zugleich. Geht aber die Richtung der eigentlich bewegenden Kraft wohl durch den Mittelpunkt, d. i. central, aber es sind gleichzeitig am Umfange des Körpers ungleich vertheilte Widerstände vorhanden, so erfolgt auch eine fortschreitend rotirende Bewegung, wie z. B. an einem Wagenrade oder an einer Billardkugel. Wird endlich durch eine fixe Axe die fortschreitende Bewegung aufgehoben, so erfolgt blos eine drehende Bewegung.

§. 33. **Trägheitsmoment.** Wird ein Körper in eine drehende

Bewegung versetzt, und sodann sich selbst überlassen, so muss er, abgesehen von allen Hindernissen, sich zufolge seines Beharrungsvermögens gleichförmig fort drehen.

Um von dem Trägheitsmomente eine klare Vorstellung zu gewinnen, denken wir uns (Fig. 53) eine um C mit der Winkelgeschwindigkeit w sich drehende schwerlose Stange, an deren Ende eine Masse M angebracht ist, um ein in dem Abstande r vorhandenes Hinderniss x zu überwinden. — Die Richtungen der bewegten Masse M oder ihrer Kraft MRw und des Hindernisses x sind auf der Stange senkrecht und diese Kräfte halten sich das Gleichgewicht, wenn am Hebel CM

Fig. 53.



$$x : MRw = R : r$$

oder
$$rx = MR^2w \;.\;.\;.\; (1)$$

stattfindet. Nun ist rx das Drehungsmoment der Last oder des Widerstandes und MR^2w das Drehungsmoment der rotirenden Masse, d. h. das Drehungsmoment einer rotirenden Masse nimmt im quadratischen Verhältnisse ihres Abstandes von der Drehungsaxe zu. In eben demselben Verhältnisse wächst aber das Beharrungsvermögen der bewegten Masse, deshalb nennt man MR^2 das Trägheitsmoment.

Will man diese Masse in den Abstand $R = 1$ versetzen, ohne dass sich Winkelgeschwindigkeit und Drehungsmoment ändern, so muss man sie durch eine andere Masse M_1 ersetzen, denn es muss sein

$$rx = M_1 w, \quad \text{daraus folgt aber}$$
$$M_1 = MR^2, \quad \text{d. h.}$$

das Trägheitmoment ist jene träge Masse, durch die man im Abstande Eins die wo immer wirklich rotirende Masse ersetzen kann.

Sind die Abstände $R = 1, 2, 3, 4$, so ersetzen sie die Massen

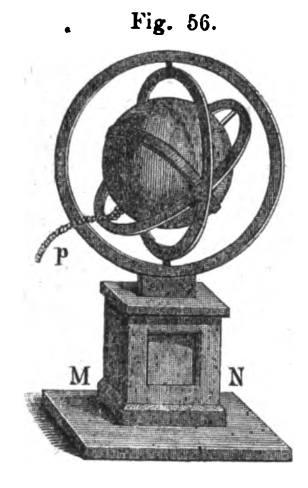
$$M = \frac{M_1}{R^2} \text{ d. i. } \frac{M_1}{1}, \frac{M_1}{4}, \frac{M_1}{9}, \frac{M_1}{16}, \text{ d. h.?}$$

Bei den Maschinen, wo entweder das Drehungsmoment der bewegenden Kraft oder die Grösse des Widerstandes veränderlich ist, bringt man, um die Maschine dennoch in gleichförmiger Bewegung zu erhalten, ein Schwungrad an, d. i. ein Rad von einem grossen Trägheitsmomente, das, einmal in Bewegung gesetzt, fähig ist, zufolge der Trägheit seine Drehung lange fortzusetzen, Hindernisse zu überwinden und die mit ihm in Verbindung gebrachten Theile in einer unveränderten Bewegung zu erhalten.

Trägheitsmomente. 1. Das Trägheitsmoment T eines Stabes von der Länge l, von gleichförmiger Dichte, der sich um eine am Ende angebrachte Axe dreht, ist dasselbe als wenn der Stab gewichtslos und an seinem freien Ende $\frac{1}{3}$ seiner Masse angebracht wäre, nämlich $T = \frac{m}{3} . l^2$; 2. dreht er sich um eine durch seinen Mittelpunkt gehende Axe, so ist $T = \frac{m}{12} l^2$; 3. hat der Stab im letzten Falle eine nicht zu vernachlässigende Breite b, so ist $T = \frac{m}{12} (l^2 + b^2)$, während die zu der Axe parallele Höhe desselben keinen Einfluss hat.

§. 34. **Erhaltung der Rotationsebene.** a) Bohnenberger's Schwungmaschinchen (Fig. 54). Eine Kugel ist in drei Ringen durch Axen so befestigt, dass sie jede Bewegung annehmen kann, als wenn sie frei im Raume schweben würde. Wird die Axe der Kugel durch einen mit Gewalt abgewickelten Faden zur schnellen Rotation gebracht, so beobachtet man, dass bei jeder beliebigen Neigung des Instrumentes die Axe ihre ursprüngliche Richtung beibehält.

Fig. 56.



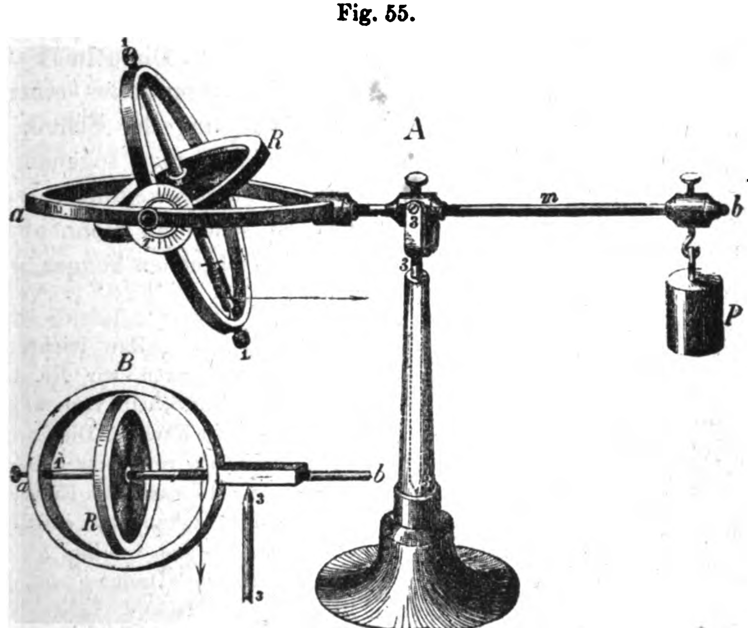
Vermöge des Beharrungsvermögens sucht jedes Theilchen eines um eine Axe rotirenden Körpers in seiner Drehungsebene zu verbleiben; ist die Axe frei, so bleibt sie deshalb in der im Anfange der

Bewegung erhaltenen Lage, wie hier die freie Axe der Kugel. In dieser Weise ist die Stabilität in der Lage der Erdaxe die Ursache ihrer fixen Richtung nach dem Polarsterne.

Bringt man an einem Pole der Schwungmaschine ein Gewichtchen an, so findet man, dass während der Drehung die Axe sich langsam in einer der Drehung der Kugel entgegengesetzten Richtung bewegt, und zwar desto langsamer, je schneller die Umdrehung vor sich geht.

Hierauf beruht das Vorrücken der Nachtgleichen von Ost nach West oder die Praecession; sie rührt her von der Anziehung der Sonne auf jene Erdmasse um den Aequator, welche die Kugel zum Sphäroid macht. Wirkt noch irgend eine Kraft störend auf die Rotation mit Praecession, so entsteht ein Schwanken der Drehungsaxe, welches man Nutation nennt; diese kommt von einer ähnlichen Einwirkung des Mondes auf das Erdsphäroid.

Fig. 55.



b) Fessel's Rotationsmaschine. Die Erscheinungen der Erhaltung der Rotationsebene, die sich oberflächlich schon an dem Kinderspielzeuge, dem Kreisel erkennen lassen, kann man mit der Rotationsmaschine von Fessel noch anschaulicher machen als mit Bohnenberger's Schwungmaschine.

Diese Erscheinungen lassen sich an dem Apparate *A* (Fig. 55) beobachten. Hier ist der Ring, in welchem sich die Scheibe um ihre Axe dreht, in einen zweiten Ring *a* so eingesetzt, dass man die Scheibe unter einem beliebigen Winkel gegen die letztere Ringebene festklemmen kann. Der zweite Ring sitzt an dem Stahlhebel *mb* fest und dieser Hebel stützt sich auf die im Stative befindliche drehbare Axe *(3, 3)* während er selbst zur Stütze eine horizontal drehbare Axe hat. — Das Gegengewicht *P* lässt sich mittelst einer Klemmschraube hin und her verschieben.

Versetzt man die Scheibe in starke Rotation, so erfolgt keine weitere Bewegung, so lange Gleichgewicht besteht. Nimmt man das Gegengewicht weg, so erfolgt eine Drehung im horizontalen Kreise, und zwar entgegengesetzt der Rotation des oberen Scheibenrandes, begleitet von wellenförmigen Schwankungen. Bringt man das Gewicht *P* so weit von der Drehungsaxe, dass die ruhende Scheibe sich in die Höhe bewegen müsste, so erfolgt die horizontale Drehung in entgegengesetztem Sinne. Diese im Falle eines Uebergewichtes eintretende Drehung der Scheibenaxe bildet die sogenannte Praecessionsbewegung, wie wir sie schon an Bohnenberger's Maschinchen kennen gelernt haben.

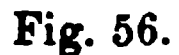
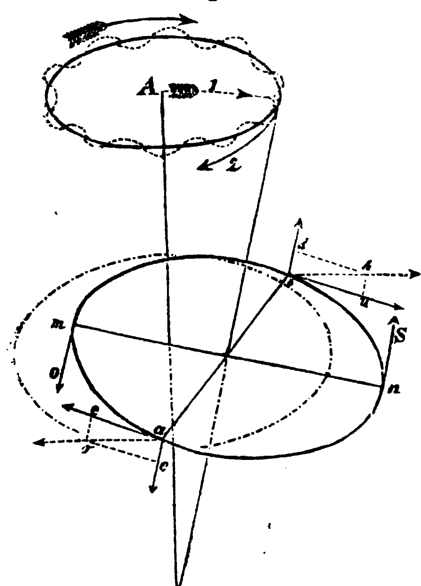


Fig. 56.



Erklärung. Zur leichteren Anschauung denken wir die Axe *AO* (Fig. 56) der Scheibe vertical gestellt wie beim Kreisel. Die Zeichnung stellt die rotirende Scheibe mit der Axe *OX* nach dem Eintritte einer kleinen Senkung dar; *m* ist der obere Scheibenrand, von ihm ab erfolgte die erste Drehung in der Richtung des Pfeiles *1*. In der ursprünglichen Stellung, in welcher die Scheibe in Rotation versetzt wurde, bewegten sich sämmtliche Massentheile der Scheibe in einer auf der Axe *AO* senkrechten Ebene, z. B. *a* mit der Kraft *ar*, *b* mit der Kraft $bh = ar$. Vermöge des Beharrungsvermögens suchen sich die Massentheile auch nach der Senkung der Scheibe ihre

ursprüngliche Bewegung *ar* und *bh* beizubehalten; nun müssen sich aber *a* und *b* zunächst in der Ebene der verschobenen Scheibe fortbewegen, d. i. nach den Richtungen *ae* und *bu*. Nach diesen Richtungen wirken aber nur die Componenten *ae* und *bu* ($ae = bu$), während die beiden andern Componenten *ac* und *bd* ($ac = bd$) auf der Scheibenebene senkrecht stehend für die unmittelbare Rotation zwar verloren gehen, dafür aber ein Kräftenpaar mit dem Arm *ab* erzeugen, welches die etwas gesunkene Scheibe um den Durchmesser *mn* dreht, wie der Pfeil *2* anzeigt, senkrecht zur Verschiebungsrichtung *1*, also im Horizonte und entgegengesetzt zur Rotationsrichtung des oberen Scheibenrandes *m*.

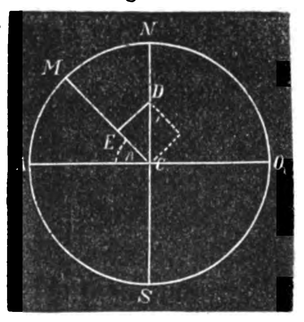
Auf die erste Senkung folgt also unmittelbar eine Drehung in horizontaler Richtung. Diese horizontale Verschiebung der Scheibe erzeugt nun aus demselben Grunde wie die erste Verschiebung eine neue zur Verschiebungsrichtung senkrechte Drehung, und zwar wie früher durch neue Kräftenpaare ($mo = ns$) in einer Richtung, welche der Drehung des Scheibenrandes *b*, von dem sich der Mittelpunkt entfernt hat, gerade entgegengesetzt ist, also entgegengesetzt dem Pfeile *1* in die Höhe. Die etwas gesunkene Scheibe erhebt sich also nach erfolgter horizontaler Verschiebung gleich wieder in die Höhe etc.

Die Zeichnung versinnlicht zugleich die Rotation des Kreises mit der Präcession und Nutation.

Durch die letzte Zeichnung ist zugleich die Kreiselbewegung versinnlicht, wenn man sich die ursprüngliche Stellung der Rotationsaxe *AO* vertical denkt.

c) Foucault's Pendelversuch. Die Eigenschaft der rotirenden Körper, ihre ursprüngliche Rotationsebene zu erhalten, hat L. Foucault 1852 zur Nachweisung der Axendrehung der Erde mittelst eines schwingenden Pendels benützt. Stellt uns (Fig. 57) *NS* die Drehungsaxe der Erde vor, an der wir die Drehungsgeschwindigkeit durch *CD* bezeichnen und bedenken, dass gleichartige Bewegungen nach dem Satze des Kräftenparallelogrammes zusammengesetzt und zerlegt werden, so entfällt auf einen in der geographischen Breite β liegenden Ort *M* die Componente $CE = CD \,.\, \sin \beta$. Da die Drehung eine gleichförmige ist, bei der in 24 Stunden 360 Grad zurückgelegt werden, so ist die Geschwindigkeit $CD = 15$ und der in der Zeit t zurückgelegte Weg $CD \,.\, t = 15 \,.\, t$. Die unbekannte Drehung des Ortes *M* beträgt in t Secunden

Fig. 57.



$$x = CE \, . \, t$$

oder
$$x = 15\,t \sin \beta,$$

d. i. die Drehung des Ortes um seine Verticale ist gleich der 15fachen Beobachtungszeit t, multiplicirt mit dem Sinus der geogr. Breite.

Nun ist zufolge der Trägheit der schwingenden Masse die Schwinkungsebene des Pendels constant und muss, wenn die Erde sich wirklich dreht, nach Verlauf der Zeit t mit einer im Beginne dieser Zeit in der Schwingungsrichtung gelegenen Linie des Ortes einen Winkel x bilden, was der Foucault'sche Pendelversuch entschieden bestätigt und dadurch den Beweis für die Axendrehung liefert.

Aufgabe. Wie gross ist die Drehung der Schwingungsebene des Pendels in Wien während einer halben Stunde? Der Stunde entspricht die Drehung von 15°.

§. 35. **Bewegung der Körper auf einer schiefen Ebene.** Wir haben bereits in der Statik erfahren, dass ein Körper auf der schiefen Ebene durch eine parallel mit ihrer Länge wirkende Kraft $P = Q \sin \alpha$ im Gleichgewichte erhalten wird; folglich ist $Q \sin \alpha$ jene Kraft, die den Körper längs der schiefen Ebene herab zu bewegen sucht. Bezeichnet man die Masse des Körpers mit M, so ist die bewegende Kraft $Q \sin \alpha = Mg \sin \alpha$; sie ist eine constante Grösse, so lange sich der Neigungswinkel α nicht ändert. Man sieht also, dass ein auf der schiefen Ebene bewegter Körper die Acceleration $g^1 = g \sin \alpha$ besitzt; man nennt $g \sin \alpha$ die relative Schwere.

Die Bewegung auf der schiefen Ebene ist daher eine gleichförmig beschleunigte, deren Gesetze man erhält, wenn man in den Ausdrücken für den freien Fall g mit $g \sin \alpha$ vertauscht; mithin

$$v_1 = \sqrt{2g \sin \alpha \, . \, s};$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{2s}{g \sin \alpha}}.$$

Fig. 58.

1. Die Endgeschwindigkeit, mit welcher ein vom höchsten Punkte auf der schiefen Ebene herab sich bewegender Körper am Fusse derselben anlangt, ist gleich der Endgeschwindigkeit, die er beim freien Falle durch die Höhe

der schiefen Ebene erreichen würde. Denn stellt uns Fig. 58 die schiefe Ebene vor, so ist

$$\sin a = \frac{BC}{AB}; \text{ durch Substitution in } v_1 \text{ erhält man}$$

$$v_1 = \sqrt{2gs \cdot \frac{BC}{AB}},$$

wird berücksichtigt, dass der Weg $s = AB$ ist, so hat man

$$v_1 = \sqrt{2gBC}.$$

Diese Quadratwurzel ist aber zugleich die Endgeschwindigkeit v beim freien Falle durch die Höhe BC der schiefen Ebene, daher ist

$$v = v_1 \ldots \text{d. h.?}$$

Die erlangte Endgeschwindigkeit ist von dem Neigungswinkel a unabhängig, daher hat der Körper am Fusspunkte angelangt immer dieselbe Geschwindigkeit, wie gross immer die Länge der schiefen Ebene sein mag, wenn nur die Höhe BC unverändert bleibt.

Dieses Gesetz gilt auch für den Fall, wenn die schiefe Ebene in eine krumme Bahn von allmäliger Krümmung übergeht, denn bei einer solchen krummlinigen Bewegung ist abgesehen von der Reibung der Verlust an Geschwindigkeit nahezu Null; mithin erleidet die Endgeschwindigkeit dadurch, dass sich ein Körper auf einer krummen Bahn bewegt, keine Aenderung, ist also dieselbe, die der Körper erlangt hätte, wenn er durch die Höhe des Bogens gefallen wäre.

2. Wege, die in gleichen Zeiten zurückgelegt werden, heisst man isochrone Wege; solche sind (Fig. 59) der Weg BD auf der schiefen Ebene und der des freien Falles BC, denn

$$t_1 = \sqrt{\frac{2s}{g \sin a}} \text{ und } \sin a = \frac{BD}{BC}, \; BD = s,$$

mithin
$$t_1 = \sqrt{\frac{2s \cdot BC}{g \cdot BD}} = \sqrt{\frac{2BC}{g}}.$$

Die letzte Quadratwurzel ist aber die Zeit t des freien Falles durch die Höhe der schiefen Ebene, und BD ist die Pro-

jection der Höhe auf die Länge der schiefen Ebene; daher $t_1 = t$, d. h.?

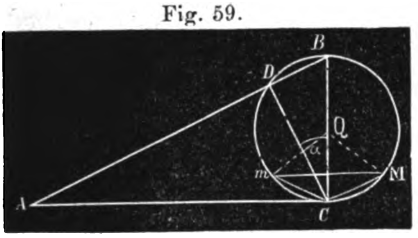


Fig. 59.

Durch die drei Punkte B, C, D lässt sich ein verticaler Kreis beschreiben, dessen Durchmesser BC ist, dann ist BD eine Sehne des Kreises. Da der für $t_1 = t$ gefundene Ausdruck vom Neigungswinkel und von der Länge der Sehne unabhängig ist, so sind alle vom Punkte B ausgehenden Sehnen isochron, und die Zeit t gleich der, welche ein Körper braucht, um beim freien Falle den Durchmesser des Kreises zurückzulegen.

Ebenso sind die vom Punkte C ausgehenden Sehnen isochron donn verbindet man die Punkte B und M durch eine Gerade, die parallel ist zu CD, so sieht man, dass die Sehnen CM und BD gleiche Länge und gleichen Neigungswinkel haben; daher isochron sind.

§. 36. **Gesetze der Pendelbewegung.** Jeder Körper, welcher um eine nicht durch seinen Schwerpunkt gehende horizontale Axe frei denkbar ist, heisst ein Pendel. Man unterscheidet in der Rechnung ein einfaches und ein physisches oder zusammengesetztes Pendel. Denkt man sich einen materiellen Punkt durch eine schwerlose Linie unveränderlich mit der Drehungsaxe verbunden, so hat man die Vorstellung von einem einfachen Pendel; ist aber irgend eine Masse durch eine Stange mit der Drehungsaxe verbunden, so hat man ein physisches Pendel, wie es alle im Gebrauch vorkommenden Pendel sind.

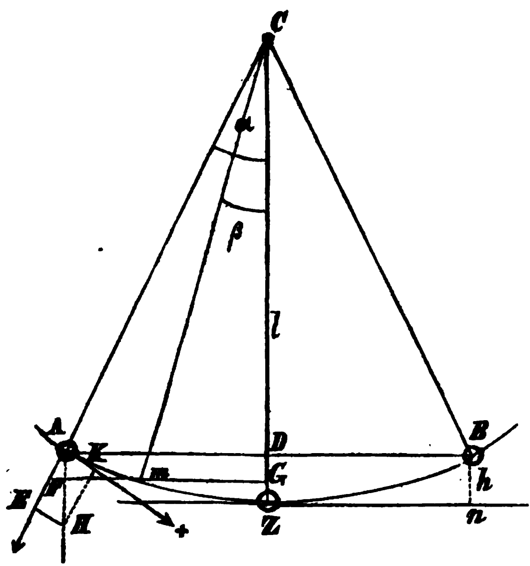
Eine kleine Blei- oder Platinkugel an einem feinen Seidenfaden aufgehängt, kann man annäherungsweise als ein einfaches Pendel ansehen.

a) Das einfache Pendel, seine Geschwindigkeit und Schwingungsdauer. Fig. 60 stelle uns ein einfaches Pendel von der Masse m vor. Wird es aus seiner Ruhelage CZ nach A verschoben, so zerlegt sich der vertical abwärts gehende Zug $Q = AH$ in die zwei Componenten AE und AK; AE wird durch den Widerstand der unveränderlichen Verbindungslinie l, die Länge des Pendels genannt, aufgehoben und es wirkt nur die mit

der Tangente Ax zusammenfallende Componente $AK = Q \sin \alpha$ und sucht es in seine Ruhelage zurückzubringen.



Fig. 60.



In dem Punkte m angelangt hat es die Geschwindigkeit v, als wäre es durch die Höhe $AF = DG$ frei gefallen, mithin

$$v = \sqrt{2g \,.\, DG};$$

nun ist $\quad DG = CG - CD = l\,(\cos \beta - \cos \alpha),$

daher $\quad v = \sqrt{2gl\,(\cos \beta - \cos \alpha)} \ldots (1).$

Aus diesem Ausdrucke ersieht man, dass die Geschwindigkeit während der Bewegung gegen die Ruhelage ungleichförmig wächst. Die Bewegung ist also eine ungleichförmig beschleunigte. In der Ruhelage angekommen ist $\beta = o$ und $\cos o = 1$, foglich hat es das Maximum der Geschwindigkeit erreicht, und muss zufolge seines Beharrungsvermögens auf der entgegengesetzten Seite seine Bewegung fortsetzen. Jetzt wird β negativ, aber $\cos(-\beta) = \cos \beta$, daher gilt auf der Seite derselbe Ausdruck *(1)* für die Geschwindigkeit, und die Geschwindigkeit nimmt ungleichförmig ab, ist also beim Steigen ungleichförmig verzögert; für $-\beta = \alpha$ wird $v = o$, d. h. bei seinem grössten Abstande erreicht es den ursprünglichen Winkel α von der Ruhelage, folglich ist der Bogen $AZ = BZ$.

Nun wiederholt es denselben Gang zurückgehend etc., d. h. das Pendel schwingt. AZ ist die Schwingungsweite, AB die Grösse einer Pendelschwingung und die dazu verbrauchte Zeit heisst man die Dauer einer Pendelschwingung.

Um die Schwingungsdauer T des Pendels zu bestimmen, bedenken wir, dass alle Sehnen eines verticalen Kreises isochron sind, so wird auch die Sehne MC so wie mC in der Zeit (Fig. 59)

$$t = \sqrt{\frac{2BC}{g}}$$

zurückgelegt. Bezeichnet man den Halbmesser der Kreises mit l, so ist $BC = 2l$, und die Zeit zum Durchlaufen beider Sehnen MC und mC gleich $2t$, oder

$$2t = 4\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Man denke sich nun im Mittelpunkte O des Kreises (Fig. 59) ein mathematisches Pendel der Länge l aufgehängt, so dass es sich im Bogen MCm bewegt. Würde sich der Schwerpunkt des Pendels längs der Sehnen MC und mC bewegen, so würde es genau die Zeit $4\sqrt{\frac{l}{g}}$ zu einer Schwingung brauchen; da sich aber das Pendel im Bogen bewegt, so kann seine Schwingungsdauer T nicht genau diese Grösse haben. Wir setzen daher

$$T = x \,.\, \sqrt{\frac{l}{g}},$$

worin x vorläufig noch unbekannt ist. — Mit Hilfe eines Secundenpendels, das für Wien die Länge $l = 3 \,.\, 14402$ W. F. hat, können wir x finden, wenn wir für Wien $g = 31 \,.\, 0302$ W. F. und $T = 1$ Secunde setzen. Dann ist

$$x = \sqrt{\frac{31 \,.\, 0302}{3 \,.\, 14402}} = 3 \,.\, 14159 = \pi.$$

Daher die Schwingungsdauer des mathematischen Pendels

$$T = \pi \,.\, \sqrt{\frac{l}{g}} \ldots (1) \ldots \text{d. h.?}$$

Weil an demselben Orte die Acceleration der Schwere constant ist, so ist die Schwingungsdauer des Pendels nur von seiner Länge abhängig. Bei gleicher Pendellänge sollte also die Schwingungsdauer constant sein, dies ist nach der Erfahrung und genaueren Rechnung nur dann der Fall, wenn der Schwingungsbogen 5° nicht übersteigt.

Macht ein Pendel l in der Zeit Z, n Schwingungen, und ein zweites l', n' Schwingungen, so ist

$$\frac{Z}{n} = \pi\sqrt{\frac{l}{g}} \text{ und } \frac{Z}{n'} = \pi\sqrt{\frac{l'}{g}},$$

daraus $\quad n^2 : n'^2 = l' : l \ldots$ d. h.?

An einem Orte von einer anderen geographischen Breite wäre für die Länge l'

$$T_1 = \pi\sqrt{\frac{l'}{g^1}},$$

und mit *(1)* verglichen $\quad T^2 : T_1^2 = \frac{l}{g} : \frac{l'}{g'} \ldots$ d. h.?

und bei gleicher geographischer Breite

$$T^2 : T_1^2 = l : l' \ldots \text{ d. h.?}$$

Aufgabe. Wie gross ist die Länge des einfachen Secundenpendels in Metern an einem Orte, wo die Acceleration $g = 9{\cdot}81$ Meter beträgt?

Die Pendelgesetze wurden zum Theil schon von Galilei entwickelt, dass nämlich Pendel von gleicher Länge auch bei ungleichen Gewichten in gleichen Zeiten ihre Schwingungen vollbringen, und dass bei ungleich langen Pendeln sich die Zeiten wie die Quadratwurzeln aus den Längen verhalten.

Huyghens fügte (Paris 1673) mehrere Sätze hinzu, darunter, dass nur unendlich kleine Schwingungen genau isochron sind.

Huyghens führte auch die erste Bestimmung der Acceleration der Schwere mittelst des Pendels aus, und fand $g = 15$ Fuss und 1 Zoll, — und wendete das Pendel als Zeitmaass für Uhren an.

Die Verschiedenheit von g behauptete zuerst Newton, und der französische Astronom Richer zeigte 1670, dass das Secundenpendel in Cayenne unter 5° n. B. 1·25 Linien kürzer sei als in Paris.

Die genaueren Messungen von g sind zusammengestellt in Geller's Physikal. Wörterbuch, 2 Aufl. Bd. III.

b) Das Centrifugalpendel (Fig. 61). Erhält ein Pendel, welches in der Ebene *ABC* schwingt, einen seitlichen Stoss, so schwingt es im Allgemeinen in einer Ellipse; nur dann entsteht ein Kreis, wenn im Ausgangspunkte *A* ein gegen *AB* senkrechter Stoss eine gleich grosse senkrechte Schwingung anregt. Die

ursprüngliche Schwingungsdauer ändert sich dadurch nicht, weil senkrechte Kräfte einander nicht ändern können.

c) Das zusammengesetzte Pendel. Jedes physische Pendel besteht aus einem Systeme fest verbundener materieller Theile, die sich in verschiedenen Entfernungen von der Drehungsaxe befinden. Man kann daher das physische Pendel als eine Verbindung einfacher Pendel ansehen. Da die materiellen Theile, welche näher an der Drehungsaxe liegen, schneller zu schwingen suchen als die entfernteren, so tritt eine Bewegung ein, bei welcher die zunächst unter der Drehungsaxe liegenden Theile an Geschwindigkeit verlieren, während die am freien Ende befindlichen Theile daran gewinnen. Zwischen diesen muss es eine Uebergangsstelle geben, welche durch den Zusammenhang mit den andern nichts gewinnt und nichts verliert, und so schwingt, wie ein freies einfaches Pendel. Jeden Uebergangspunkt nennt man Schwingungspunkt und seinen Abstand von der Axe die reducirte Länge des zusammengesetzten Pendels.

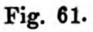
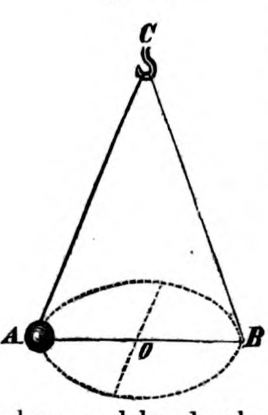


Fig. 61.



Die reducirte Länge des physischen Pendels ist gleich der Länge jenes mathematischen Pendels, welches dieselbe Schwingungsdauer hat, wie das physische.

Jenen Schwingungspunkt, welcher in der durch den Schwerpunkt des Pendels gezogenen Verticallinie sich befindet, nennt man den Schwingungsmittelpunkt.

Die reducirte Länge eines physischen Pendels lässt sich annäherungsweise mittelst eines einfachen Pendels durch Versuche bestimmen. Wie?

d) Um die reducirte Länge eines zusammengesetzten Pendels (Fig. 62) zu berechnen, denken wir, x sei der Schwingungsmittelpunkt, $Cx = \lambda$ seine Entfernung von der Drehungsaxe C, und bezeichnen mit X jene Masse, welche im Schwingungsmittelpunkte vereinigt allein die wirkliche Masse des physischen Pendels ersetzen könnte. In dem Schwerpunkte q oder s, dessen Abstand von der Drehungsaxe $Cs = a$ sei, können wir uns die wirkliche Masse M des ganzan Pendels vereinigt denken.

Soll nun die gedachte Masse X im Abstande λ die wirkliche Masse M ersetzen, so darf sich dadurch die Winkelgeschwindigkeit der Schwingung oder Drehung nicht ändern. Nach §. 33 Gl. *(1)* bleibt aber die Winkelgeschwindigkeit ungeändert, wenn das Drehungsmoment Ma und das Trägheitsmoment K sich nicht ändert; das Drehungsmoment von X ist aber $X\lambda$ und das Trägheitsmoment $X\lambda^2$, also muss sein

Fig. 62.

$$X\lambda = Ma \text{ und } X\lambda^2 = K,$$

folglich
$$\lambda = \frac{K}{Ma},$$

d. h. die reducirte Länge eines zusammengesetzten Pendels ist gleich seinem auf die Drehungsaxe bezogenen Trägheitsmomente dividirt durch das Produkt seiner Masse in den Abstand seines Schwerpunktes von der Axe. — Daraus ergibt sich die Schwingungsdauer des physischen Pendels

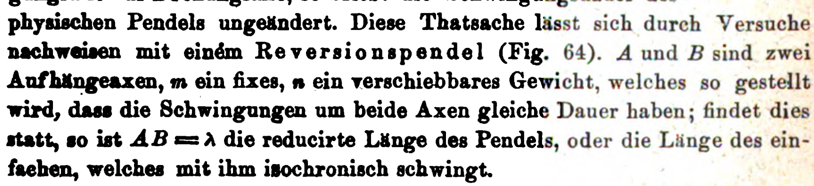
$$T = \pi \sqrt{\frac{K}{Mga}} \quad \ldots (2).$$

Eine in der durch die Axe gelegten Verticalebene im Abstande λ parallel mit der Axe gezogenen Linie enthält daher jene materiellen Theilchen, die ungeachtet ihrer Verbindung genau so schwingen, als einfache Pendel von der Länge λ. Diese Gerade heisst Schwingungsaxe und ihre Punkte sind eben die Schwingungspunkte.

Fig. 63.

e) **Mälzel's Metronom.** Befindet sich die Drehungsaxe nicht am Ende des Pendels und liegen Massentheilchen über derselben, wie z. B. bei Mälzel's Metronom oder Taktmesser (Fig. 63), so verzögern die oberen Theilchen die Schwingung der unter der Axe liegenden, weil bei jedem Ausschlage die oberen wie ein labiler Körper herabzufallen suchen, während die unteren sie wieder in die Verticallinie heben müssen.

Um die Schwingungsdauer des Metronoms zu reguliren, lässt sich ein Gewicht m auf einer Scale, die unmittelbar die Schwingungszahl für eine Minute angibt, auf und ab verschieben.



f) **Das Reversionspendel.** Macht man die Schwingungsaxe zur Drehungsaxe, so bleibt die Schwingungsdauer des physischen Pendels ungeändert. Diese Thatsache lässt sich durch Versuche nachweisen mit einem Reversionspendel (Fig. 64). A und B sind zwei Aufhängeaxen, m ein fixes, n ein verschiebbares Gewicht, welches so gestellt wird, dass die Schwingungen um beide Axen gleiche Dauer haben; findet dies statt, so ist $AB = \lambda$ die reducirte Länge des Pendels, oder die Länge des einfachen, welches mit ihm isochronisch schwingt.

Länge des Secundenpendels. Diese Länge AB λ, so wie dessen Schwingungsdauer T lässt sich nun mit grosser Genauigkeit bestimmen, und

sonach ergibt sich die Länge L des **Secundenpendels** nach dem Gesetze der Pendelschwingung aus der Gleichung

$$T^2 : 1 = \lambda : L,\ L = \frac{\lambda}{T^2}.$$

Fig. 64.

g) **Anwendung des Pendels.** Das Pendel gestattet nicht nur eine genaue **Zeitmessung**, sondern liefert zugleich das schärfste Untersuchungsmittel der **Wirkung der Schwerkraft** und der **Axendrehung der Erde.**

Ist l die Länge des Secundenpendels, so findet man aus

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

$t = 1$ setzend, die **Acceleration** des Ortes

$$g = \pi^2 . l.$$

Für Wien ist $l = 3 . 144021$ W. F., daher

$$g = 31 . 0302 \text{ W. Fuss.}$$

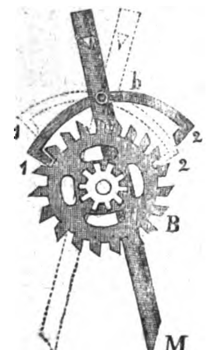
Die Beobachtungen mit dem Pendel bestätigen das aus der angenommenen Axendrehung abgeleitete Gesetz der Zunahme der Wirkung der Schwerkraft bei Annäherung gegen die Pole, und geben damit den Beweis für die Axendrehung der Erde. Und in neuester Zeit lehrte **Foucault**, wie uns ein an Ort und Stelle schwingendes Pendel Zeugniss gibt von der Axendrehung der Erde.

Auf hohen Bergen schwingt ein Pendel langsamer als am Fusse derselben und beweist hiermit, dass die Schwerkraft mit der Entfernung vom Erdmittelpunkte abnimmt. Die Thatsache, dass vollkomenen gleiche Pendel von versiedener Materie gleichzeitig schwingen, zeigt, dass die Wirkung der Schwerkraft unabhängig ist von der materiellen Beschaffenheit.

Da das Pendel Schwingungen von geringer Amplitude in gleichen Zeiten vollbringt, so ist es möglich nach der Anzahl der Schwingungen die Zeit zu messen, während welcher sie vollbracht werden. Um ein Pendel zu einem bequemen **Zeitmesser** zu machen, bringt man mit ihm einen Mechanismus in Verbindung, durch den die Fortdauer seiner Schwingungen erzielt und die Anzahl der Schwingungen aufgezeichnet wird. Eine solche Vorrichtung zur Zeitmessung ist eine **Pendeluhr.**



Fig. 65.



In jeder **Uhr** wird die Bewegung des Räderwerkes durch den Zug eines Gewichtes oder einer zusammengerollten Feder hervorgerufen und mittelst des Zeigers am Zifferblatte die Zeit abgelesen. Zur Erhaltung eines gleichförmigen Ganges dient ein schwingender Körper, **Regulator** genannt. Bei Uhren, die durch Gewichte getrieben werden, wie auch bei den durch Federkraft bewegten Stockuhren ist der Regu-

lator ein Pendel, nur die tragbaren Uhren, d. i. Taschenuhren, haben zum Regulator ein Schwungrad, die sogenannte Unruhe. Die genauesten Uhren sind aber immer die Pendeluhren. Die einfachste Vorrichtung, durch die das Pendel zu einem Regulator wird, ist die Ankerhemmung (Fig. 65), auch Echappement genannt. Diese besteht aus einem Metallbogen b, dessen zwei Haken abwechselnd zwischen die Zähne des Steigrades B eingreifen. Durch den Widerstand der Zähne wird die durch das Gewicht angestrebte beschleunigte Bewegung in eine gleichförmige verwandelt und durch den Druck die Geschwindigkeit des Pendels ersetzt, die durch Widerstände verloren geht, so dass die Schwingungsweite constant bleibt. — Um auch die durch die Wärme bewirkte Längenänderung und die dadurch hervorgerufene Störung der Schwingungsdauer zu beseitigen, gibt man dem Pendel eine eigene Einrichtung, Compensation genannt, deren Begründung in der Wärmelehre vorgenommen werden soll.

§. 37. **Bewegung geworfener Körper im luftleer gedachten Raume.** Die durch Wurf erzeugte Bewegung ist eine zusammengesetzse, bewirkt durch die Wirksamkeit zweier Kräfte, der momentanen Wurfkraft und der continuirlichen Schwerkraft, welcher der Körper nach dem Wurfe überlassen bleibt. So oft die Richtungen dieser zwei Kräfte einen Winkel einschliessen, erfolgt, wie oben gezeigt wurde, eine krummlinige Bewegung; fallen die Richtungen zusammen, so erfolgt eine geradlinige Bewegung, wie dies beim verticalen Wurfe der Fall ist. — Der geworfene Körper heisst Projectil, seine Bahn nennt man Wurflinie.

a) Verticaler Wurf. Wird ein Körper durch eine momentane Kraft mit der Geschwindigkeit c vertical aufwärts geworfen und dann sich selbst überlassan, so wird die Grösse seiner Bewegung durch die gerade entgegengesetzt wirkende Schwerkraft continuirlich vermindert, daher wird endlich seine Geschwindigkeit Null und der Körper beginnt den Fall abwärts. — Heisst v die Geschwindigkeit des vertical aufwärts geworfenen Körpers nach Verlauf der Zeit t, und s der Weg, den er während dieser Zeit durchlaufen hat, so ist

$$v = v - gt \ldots (1)$$

und

$$s = ct - \frac{gt^2}{2} \ldots (2).$$

Werden die negativen Vorzeichen in positive verwandelt, so hat man die Geschwindigkeit und den Weg eines vertical abwärts fallenden Körpers.

Da der Körper so lange steigt, bis er die ganze Geschwindigkeit verliert, so ergibt sich die Dauer des Steigens aus

$$v = o, \text{ oder } c - gt = o,$$

mithin $$c = gt \text{ und } t = \frac{c}{g} \ldots (3).$$

Die Höhe H, bis zu welcher sich der Körper erhebt, erhält man durch die Substitution von (3) in der Gleichung (2)

$$s = H = \frac{c^2}{2g} \ldots (4).$$

Heisst v_1 die Endgeschwindigkeit, die er beim Herabfallen von der Höhe H erlangt, so ist

$$v_1 = \sqrt{2gH},$$

mithin $$H = \frac{v_1{}^2}{2g},$$

also $$v_1 = c,$$

d. h. ein vertical aufwärts geworfener Körper kommt am Orte des Wurfes mit der nämlichen Geschwindigkeit an, mit der er zu steigen begann.

Da die Geschwindigkeit wieder die ursprüngliche ist, so hat der Körper auch die ursprüngliche lebendige Kraft oder Arbeitsgrösse, — und wir haben ein Beispiel der Erhaltung der lebendigen Kraft vor uns.

Die Dauer t_1 des Herabfallens ist gleich der des Aufsteigens, denn

$$t_1 = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2}{g} \cdot \frac{c^2}{g}} = \frac{c}{g} = t.$$

Aufgabe. Ein Körper im Gewichte von 1 Kilogramm wird mit der Geschwindigkeit von 19·62 Meter vertical aufwärts geworfen; wie hoch steigt er, nach wie viel Secunden fällt er herab? Wie gross ist die Arbeit der Kraft, die ihn bis zur Steighöhe gebracht und wie gross die in seiner lebendigen Kraft beim Anlangen am Boden angesammelte Arbeit?

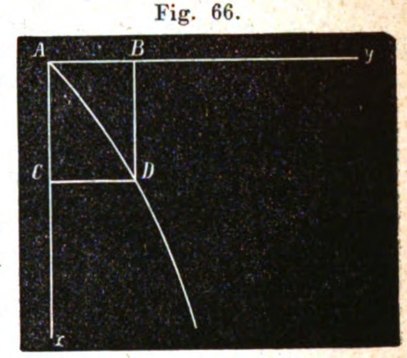
b) Horizontaler Wurf. Ertheilt die Wurfkraft dem Körper in der horizontalen Richtung Ay die Geschwindigkeit c, während ihn die Schwerkraft beständig abwärts zieht, so legt er in der Richtung der Wurfkraft in der Zeit t den Weg $y = ct$ und in der

Richtung der Schwere den Weg $x = g\frac{t^2}{2}$ zurück. Schneiden wir (Fig. 66.) $AB = y = ct$ ab, und $AC = x = g\frac{t^2}{2}$, so ist der Körper nach Verlauf der Zeit t in D. Die Gleichung seiner Bahn finden wir durch Elimination der Zeit t aus x und y, nämlich

$$y^2 = \frac{2c^2}{g} \cdot x \ldots (5),$$

das ist die Gleichung einer **Parabel**, deren Scheitelpunkt A und deren Parameter $\frac{2c^2}{g}$ ist. —

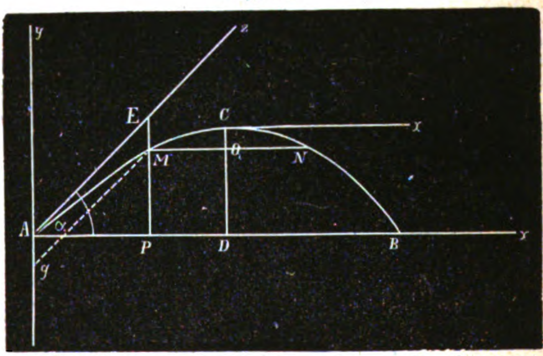
Fig. 66.



Z. B. Ein aus der verticalen Wand eines Gefässes herausspringender Wasserstrahl fällt in einer Parabel zur Erde.

c) **Schiefer Wurf.** Ist (Fig. 67) Ax der Horizont und wird ein Körper unter dem **Elevationswinkel** $xAz = \alpha$ in der schiefen Richtung Az mit der Geschwindigkeit c geworfen, so beschreibt er wieder eine Parabel, deren Scheitel in der höchsten Höhe, die er erreicht, **Wurfhöhe** genannt, liegt. Zerlegt man die Wurfkraft mc in eine horizontale Componente $mc \cos \alpha$ und in eine verticale $mc \sin \alpha$ und bemerkt, dass die Schwerkraft der verticalen Componente gerade entgegenwirkend diese beständig vermindert, während die horizontale, wenn man vom Widerstande des Mittels absieht, unverändert bleibt; so erhält man für die verticale Geschwindigkeit des Körpers nach Verlauf der Zeit t die Gleichung vermöge der Gl. (1)

Fig. 67.



$$v = c \sin \alpha - gt \ldots (6).$$

Unterdessen schreitet der Körper vermöge der horizontalen Componente in der Richtung Ax fort und erhebt sich, bis $v = o$ wird; heisst dann die Zeit t', so folgt aus *(6)*, wenn man $v = o$ setzt,

$$t' = \frac{c \sin a}{g} \ldots (7).$$

Um diese Zeit t' hat der Körper seine Wurfhöhe C erreicht und längs des Horizontes den Weg

$$AD = t' \cdot c \cos a$$

oder

$$AD = \frac{c^2 \sin a \cos a}{g} \ldots (8)$$

zurückgelegt.

Von C an sind die horizontale Componente $mc \cdot \cos a$ und die Schwerkraft wirksam, also ist, wie schon gezeigt, C der Scheitel der Parabel, in welcher der Körper von der grössten Wurfhöhe zu Boden fällt.

Um sich zu überzeugen, dass auch der aufsteigende Ast der Wurflinie ein Ast der Parabel CNB ist, nehmen wir an, das Projectil sei in M in der Zeit t, und setzen $AP = x$, $MP = y$; so ist vermöge der Gl. *(2)*

$$y = ct \sin a - \frac{gt^2}{2} \ldots (9).$$

Setzt man in der Gleichung *(9)* anstatt t einmal $t' - T_1$ und das andere Mal $t' + T_1$, so hat man für beide Fälle respective

$$y_1 = c\,(t' - T_1) \sin a - \frac{g}{2}\,(t' - T_1)^2$$

und

$$y_2 = c\,(t' + T_1) \sin a - \frac{g}{2}\,(t' + T_1)^2$$

und berücksichtigt die Gleichung *(7)* und *(9)*, so erhält man $y_1 = y_2$, d. h. das Projectil befindet sich in den von der Zeit der grössten Wurfhöhe gleichweit abstehenden Zeiten in gleicher Höhe über dem Horizonte, mithin muss der aufsteigende Bogen $AMC \cong CNB$ sein, d. h. die ganze Bahn ist eine Parabel, deren Axe mit der Wurfhöhe CD zusammenfällt. Ferner folgt aus *(8)*, da die Wurfweite $AB = 2AD$ ist,

$$AB = \frac{2c^2}{g} \sin \alpha \cos \alpha$$

oder
$$AB = \frac{c^2}{g} \sin (2\alpha) \ldots (10).$$

Daraus ist ersichtlich, dass für $\alpha = 45^0$, d. i. bei der Elevation von 45^0 die Wurfweite am grössten ist. Ist $\alpha = 45 \pm \beta$, so ist in beiden Fällen $AB = \frac{c^2}{g} \cos (2\beta)$, mithin sind die Wurfweiten bei Elevationen, die sich zu 90^0 ergänzen, einander gleich.

Aus der Gleichung (9) ergibt sich die Dauer T der Bewegung, wenn man $y = o$ und $t = T$ setzt, also

$$cT \sin \alpha = \frac{gT^2}{2},$$

das ist
$$T = \frac{2c}{g} \sin \alpha.$$

Setzt man in (9) diese halbe Dauer der Bewegung, so erhält man die Wurfhöhe

$$y = CD = \frac{c^2 \sin^2 \alpha}{2g} \ldots (11),$$

d. h. die Wurfhöhe nimmt mit der Grösse des Elevationswinkels zu und ist für $\alpha = 90$ am grössten.

Um die Gleichung der Wurflinie bezüglich zweier durch C gehender rechtwinkeliger Coordinaten Cx' und CD zu finden, bezeichnen wir CQ mit x_1 und QN mit y_1 und begnügen uns damit zu bemerken, dass $x_1 = \frac{gt^2}{2}$ und $y_1 = ct \cos \alpha$ ist, woraus nach Elimination von t die Gleichung der Parabel folgt:

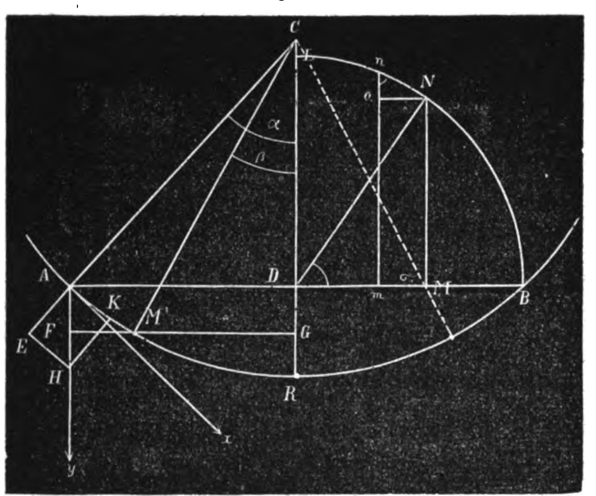
$$y^2_1 = \frac{2c^2 \cos^2 \alpha}{g} \cdot x_1 \ldots (12).$$

Der Luftwiderstand bringt bedeutende Veränderungen der theoretischen Resultate hervor, indem er die horizontale Componente vermindert und in dieser Richtung die Bewegung verzögert; aber auch in verticaler Richtung wird die Bewegung durch den Luftwiderstand geändert, weshalb die Wurflinie bei der Bewegung des Projectils in der Luft von einer Parabel bedeutend abweicht. Der aufsteigende Ast ist länger als der absteigende, letzterer convergirt gegen eine verticale Assymptote, weil die horizontale Componente immer kleiner und daher die verticale vorherrschend wird.

§. 38. **Princip der Erhaltung der Kraft.** Das Pendelgewicht stellt auf der Höhe, auf die es gehoben wurde, die beim Heben geleistete Arbeit oder einen Arbeitsvorrath vor. Lässt man es herabfallen, so verschwindet mit der Höhe auch der Arbeitsvorrath, dafür aber sammelt sich der verschwundene Theil in der lebendigen Kraft seiner Bewegung als Arbeitsfähigkeit an. Jeder Theil des Arbeitsvorrathes setzt sich in Arbeitsfähigkeit um. An der tiefsten Stelle, in der Ruhelage des Pendels ist der ganze Arbeitsvorrath verschwunden, aber die angesammelte Arbeitsfähigkeit seiner lebendigen Kraft vermag das Gewicht auf der anderen Seite ebenso hoch zu heben. Die als lebendige Kraft angesammelte Arbeitsfähigkeit ist also gleich der verschwundenen Arbeit und kann diese wieder hervorbringen.

Ist q das Gewicht des Pendels (Fig. 68.) und wird es bis

Fig. 68.



zum Punkte B auf die Höhe $h = DR$ gehoben, so hat die hebende Kraft die Arbeit $A_1 = qh$ geleistet.

Lässt man das Pendel bei B aus, so erlangt es im tiefsten Punkte z angelangt seine grösste Geschwindigket v; es hat im Punkte Z seine grösste lebendige Kraft $L = \frac{Mv^2}{2}$, und zugleich $A = o$, weil $h = o$ ist.

Im Punkte Z erscheint also die geleistete Arbeit vollständig in lebendige Kraft umgesetzt.

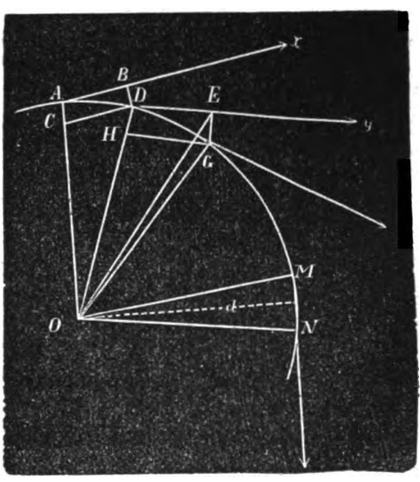
Diese lebendige Kraft hebt aber das Pendel auf der anderen Seite der Ruhelage bis zu derselben Höhe h. Im Punkte A ist aber wieder die grösste Arbeit angesammelt,

$$A_1 = qh, \text{ und zugleich}$$
$$L = o, \text{ weil } v = o \text{ ist.}$$

Wo immer Arbeitsvorrath verschwindet, tritt eine äquivalente lebendige Kraft auf. Die Summe dieser beiden Arbeitsformen bleibt sich aber bei allen Naturerscheinungen stets gleich. Dieses Gesetz ist das Princip der Erhaltung der Kraft.

§. 39. **Centralbewegung und Gravitation.** Eine krummlinige Bewegung, bei welcher die das Bewegliche von seiner Richtung ablenkende Kraft immer von einem und demselben Punkte ausgeht, heisst Centralbewegung. Den Sitz dieser continuirlichen Kraft nennt man Centralpunkt und die Kraft selbst Centralkraft. Die vom Centralpunkte zum Beweglichen oder zu einer Stelle seiner Bahn gezogene Gerade heisst Radiusvector; die in jedem Punkte der Bahn längs der Tangente sich äussernde bewegende Kraft heisst Tangentialkraft; mit dieser würde sich der Körper gleichförmig fortbewegen, wenn die Centralkraft zu wirken aufhören würde, folglich liegt in der Tangentialkraft jene momentane Kraft, die mit der Centralkraft gleichzeitig und unter einem Winkel auf den Körper wirkend die krummlinige Bewegung erzeugt.


Fig. 69.



a) Gesetze der Centralbewegung. 1. Ist (Fig. 69) O der Sitz der Centralkraft, die auf den Körper A anziehend wirkt, während er von einer momentanen Kraft in der Richtung Ax zur Bewegung angeregt wird, so entsteht eine krummlinige Bahn. Nehmen

wir an, der Körper wäre in dem Zeittheilchen τ nach D gekommen, so ist AD ein sehr kleines Bahnstückchen, welches wir als gerade annehmen dürfen; in D hat er vermöge seiner Trägheit das Bestreben die Bewegung in der tangentiellen Richtung Ay fortzusetzen und im folgenden Zeittheilchen τ den Weg $DE = AD$ zurückzulegen, wird aber durch die Centralkraft um DH nach O hin abgelenkt und legt DG zurück etc. — Die Dreiecke AOD und DOE haben gleiche Höhe und gleiche Basis, somit sind ihre Flächeninhalte einander gleich, also $AOD = DOE$, aber es ist auch $DOE = DOG$, weil sie OD gemeinschaftlich haben und ihre Scheitel in derselben zu OD parallelen EG liegen, mithin

$$AOD = DOG \ldots (1),$$

d. i. die in gleichen Zeittheilchen von dem Radiusvector durchstrichenen Flächenräume sind einander gleich. Dieses Gesetz gilt auch allgemein für jede Zeit t, weil die Summe gleicher Elementarflächen beiderseits gleich ist, daher es so ausgesprochen werden kann: die vom Radiusvector in gleichen Zeiten beschriebenen Flächenräume sind einander gleich. — Dieser Satz heisst das Gesetz der Erhaltung der Flächen.

2. Aus dem Gesetze der Erhaltung der Flächen folgt, dass bei einer bestimmten Centralbewegung der in der Zeiteinheit vom Radiusvector durchstrichene Flächenraum $= k$ eine constante Grösse ist; daher ist ein in dem Zeittheilchen $\tau = \frac{t}{n}$ durchstrichener Flächenraum $MON = k \cdot \tau$. Ist während dieses unendlich kleinen Zeittheilchens die Geschwindigkeit v, so ist der Bogen $MN = v\tau$, und ist d die Entfernung des mit der Tangente nahe zusammenfallenden Bogens vom Mittelpunkte O, so ist der Flächenraum des Dreieckes auch

$$MON = v\tau \cdot \frac{d}{2},$$

mithin ergibt sich durch die Gleichsetzung der Werthe für MON

$$v = \frac{2k}{d} \ldots (2),$$

d. h. die Geschwindigkeit des Beweglichen an irgend einer Stelle der Bahn ist der Entfernung desselben vom Mittelpunkte der Bewegung umgekehrt proportional, oder die Geschwindigkeiten verhalten sich verkehrt, wie die Abstände des Beweglichen vom Mittelpunkte. — Dieses ist das Gesetz der Erhaltung der Geschwindigkeit, weil das Bewegliche an derselben Bahnstelle angelangt immer wieder dieselbe Geschwindigkeit besitzt.

Kepler leitete (1610) aus seinen astronomischen Beobachtungen folgende Gesetze der Bewegungen der Himmelskörper ab: 1. Die Bahnen der Planeten sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht. 2. Die Flächenräume, welche der von der Sonne zu einem Planeten gehende Radiusvector während beliebiger Zeiten durchstreicht, verhalten sich wie diese Zeiten. 3. Die Quadrate der Umlaufszeiten je zweier Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.

b) Gravitation. Newton erkannte aber aus den Kepler-schen Gesetzen, dass die Anziehungskraft jedem einzelnen Theilchen des anziehenden Körpers zukommt, überhaupt jeder Materie eigenthümlich ist, und dass die Wirkung eines Körpers auf ein in der Ferne befindliches Massentheilchen als die Resultirende der von den einzelnen materiellen Theilchen ausgehenden Anziehungskräfte zu betrachten ist. Da alle Theile eines Körpers dieselben Anziehungskräfte äussern, so muss ihre Resultirende nothwendiger Weise im Mittelpunkte der Masse ihren Angriffspunkt haben, d. i. in dem Schwerpunkte eines festen Körpers.

Die Grösse der Wirkung einer Masse M auf eine entfernte Masse m, deren Schwerpunkte die Distanz D haben, ist nach Newton

$$R = \frac{M \,.\, m}{D^2},$$

Die Wechselwirkung der Körper wächst mit dem Produkte ihrer Massen, nimmt aber im quadratischen Verhältnisse mit der Entfernung ihrer Schwerpunkte ab.

Demselben Gesetze unterliegen alle fernwirkenden Kräfte,

so beim Magnetismus und bei der Electricität, ja selbst beim Schall und Licht.

Dabei ist jene Wirkung = *1* gesetzt, die eine in einem Punkte concentrirt gedachte Masseneinheit auf eine gleich grosse Masse in der Entfernung = *1* ausübt.

Die Erde, wie jeder andere Weltkörper, wirkt also auf Körper ausser ihr mit einer gegen ihren Mittelpunkt gerichteten Kraft, Schwerkraft genannt, d. h. sie zieht die Körper gegen ihren Mittelpunkt an. Nur dort, wo in der Nähe des angezogenen Körpers eine ungleiche Vertheilung ihrer Masse vorhanden ist, muss eine Abweichung dieser Richtung nach der Seite der grössern Masse hin stattfinden. Die Schwerkraft ist nur ein besonderer Fall der allgemeinen Gravitation.

40. §. **Anwendung des Gravitationsgesetzes auf die Ebbe und Fluth des Meeres.** Unter Ebbe und Fluth versteht man das periodische Sinken und Steigen des Meerwassers, welches an den Meeresküsten täglich zweimal beobachtet wird. Diese Bewegung des Meerwassers zeigt schon dadurch seine Abhängigkeit von der Anziehungskraft des Mondes, dass das Hochmeer regelmässig fast $1^1/_2$ Stunden nach der Culmination des Mondes sich einstellt. Diesen Zusammenhang bestätigt auch die Thatsache, dass bei gleichzeitiger Culmination des Mondes und der Sonne die Fluthen am höchsten steigen, wovon sie den Namen Springfluthen erhalten haben.

Um diese Erscheinung aus dem Gravitationsgesetze zu erklären, nennen wir M die Masse des Mondes und betrachten die Stärke ihrer Anziehung auf eine Masseneinheit $m = 1$ an der ihm zugekehrten Erdoberfläche, auf $m = 1$ im Erdmittelpunkte in einer Entfernung von 60 Erdhalbmesser, und auf $m = 1$ an der ihm diametral entgegengesetzten Oberfläche; so sind diese Kräfte der Reihe nach

$$P_1 = \frac{M}{59^2},\ P_2 = \frac{M}{60^2},\ P_3 = \frac{M}{61^2},$$

mithin
$$P_1 : P_2 : P_3 = \frac{1}{59^2} : \frac{1}{60^2} : \frac{1}{61^2},$$

d. h. jede Masseneinheit an der dem Monde zugekehrten Erdoberfläche wird im Verhältnisse $\frac{1}{59^2} : \frac{1}{60^2}$ stärker angezogen als der Erdmittelpunkt, und jede Masseneinheit der direct abgewendeten Oberfläche im Verhältnisse

$\frac{1}{61^2} : \frac{1}{60^2}$ schwächer angezogen werden. Und man überzeugt sich leicht, dass

$$P_1 - P_2 \text{ nahe} = \frac{P_2}{30}$$

und

$$P_2 - P_3 \text{ nahe} = \frac{P_2}{30} \text{ ist;}$$

also

$$P_1 = P_2 + \frac{P_2}{30} \text{ und } P_3 = P_2 - \frac{P_2}{30}.$$

Die Folge davon ist, dass wenn jene dem Monde gerade zugekehrten und von ihm abgewendeten Theile der Erdoberfläche aus Wasser bestehen, dessen Theilchen wegen ihrer leichten Verschiebbarkeit eine dem Zuge entsprechende Bewegung annehmen können, die stärker angezogenen Wassertheile dem Erdmittelpunkte vorauseilen und die weniger angezogenen hinter demselben zurückbleiben. Auf diese Art muss sich das Wasser an der dem Monde zugekehrten, so wie an der von ihm abgewendeten Seite der Erdoberfläche anhäufen und steigen, zugleich aber an den um 90 Grad davon entfernten Orten sinken, d. h. es muss Ebbe und Fluth eintreten. — Da aber das Meerwasser eine träge Msse ist, so folgt es erst allmälig dem Zuge des Mondes, daher geschieht es, dass die Fluth regelmässig einige Zeit nach der Culmination des Mondes sich einstellt. Die Ebbe und Fluth folgt so genau dem Laufe des Mondes, dass, so wie der Mond erst nach je 24 Stunden und 50 Minuten culminirt, die zweimalige Ebbe und Fluth an die Periode von 24 Stunden und 50 Minuten gebunden ist.

Aus denselben Gründen entspringen aus der Anziehung der Sonne gegen das Meerwasser täglich zweimal Ebbe und Fluth. Zur Zeit des Neu- und Vollmondes, wo ihre Wirkungen übereinstimmend sind, treten auch die höchsten Fluthen auf, während zur Zeit des ersten und letzten Mondviertels Ebbe und Fluth der Sonne und des Mondes um 90° abstehen und sich gegenseitig vermindern, wo sie dann Nippfluthen genannt werden. Aber der Mond ändert auch seine Distanz von der Erde, indem er sich um dieselbe in einer Ellipse bewegt, in deren einem Brennpunkte die Erde sich befindet. Die Erfahrung bestätigt auch diesen Einfluss, indem die Fluthen zur Zeit der Erdnähe am höchsten, und zur Zeit der Erdferne am schwächsten sind. — Diese Auseinandersetzungen gelten nur für den Fall, dass die Erde ganz mit Wasser bedeckt ist. Bei der wirklichen Gestalt der Oberfläche, wo die Continente dem Zuge der Fluth grosse Dämme entgegensetzen, finden bedeutende Abweichungen sowohl in der Zeit des Eintrittes als auch in der Höhe der Fluth statt, selbst bei nahe gelegenen Orten.

Die Anziehung der Sonne P ist zwar viel stärker als die des Mondes P^1 und dennoch ist die durch die Sonne erzeugte Fluth viel schwächer als die, welche der Mond hervorbringt, weil die Fluth das Ergebniss der Differenz der Anziehungen ist, welche jeder der beiden Himmelskörper gegen den Mittelpunkt und gegen die Erdoberfläche äussert; und diese Differenz erscheint für

12*

den Mond grösser als für die Sonne. Sind M und M' die Massen der Sonne und des Mondes, D und d die Entfernungen ihrer Mittelpunkte vom Mittelpunkte der Erde, deren Masse wir mit m bezeichnen, P und P_1 beziehungsweise ihre Kräfte, so ist

$$P = \frac{Mm}{D^2} \text{ und } P_1 = \frac{M'm}{d^2},$$

mithin

$$P : P_1 = \frac{M}{D^2} : \frac{M'}{d^2}.$$

Nun ist aber $M =$ nahe $350000\ m$, $M' = \frac{m}{70}$, $D = 24000\ R$, $d = 60\ R$, wo R den Erdhalbmesser bezeichnet, somit nahe

$$P : P_1 = 153 : 1, \quad \text{d. h.?}$$

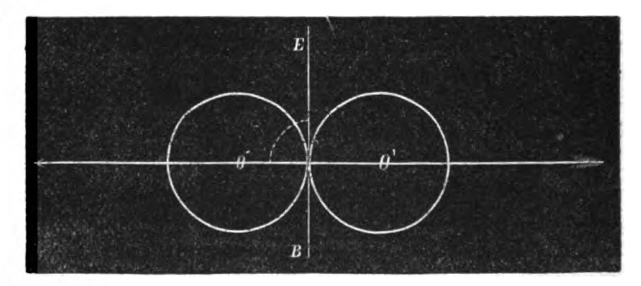
Aber das Verhältniss der Differenzen ist

$$M\left(\frac{1}{(24000)^2} - \frac{1}{(24001)^2}\right) : M'\left(\frac{1}{60^2} - \frac{1}{61^2}\right) \text{ nahe } = \frac{M}{(24000)^3} : \frac{M}{60^3};$$

setzt man für M und M' die Werthe, so ergibt sich das Verhältniss der Differenzen nahe wie 3 : 8, also für den Mond nahe $^8/_3$mal grösser als für die Sonne.

§. 41. Gesetze der durch den Stoss erzeugten Bewegung. Wenn Körper, welche in Bewegung sind, auf einander oder auf andere ruhende Körper treffen, so erfolgt ein Stoss. Wir wollen nur den Erfolg des Stosses gleichförmig dichter Kugeln betrachten, und zwar in den zwei äussersten Fällen bei elastischen und unelastischen Massen.

Fig. 70.

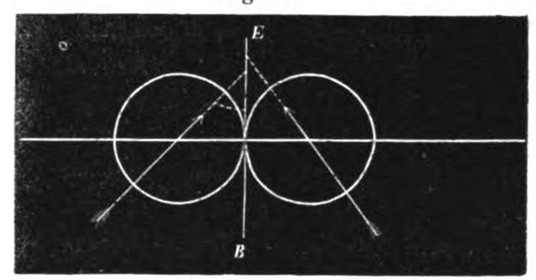


Geht die Richtung der Bewegung des Mittelpunktes der Kugeln (Fig. 70) senkrecht durch die Berührungsebene, so heisst der Stoss gerade, sonst schief (Fig. 71).

a) Gerader centraler Stoss unelastischer Kugeln.

Eine unelastische Masse M mit der Geschwindigkeit C stösst an eine andere auch unelastische Masse m von der Geschwindigkeit c, so dass der Stoss durch ihren Schwerpunkt geht. Die Wechselwirkung hört auf, wenn sie eine gemeinschaftliche Geschwindigkeit u angenommen haben.

Fig. 71.



Nun ist vermöge des Beharrungsvermögens die Summe der bewegenden Kräfte vor dem Stosse gleich der Summe derselben nach dem Stosse nämlich

$$MC + mc = Mu + mu,$$

mithin

$$u = \frac{MC + mc}{M + m} \ldots (1) \ldots \text{d. h.?}$$

War die gestossene Kugel m in Ruhe, so ist $c = o$, hatte sie eine entgegengesetzte Bewegung, so ist c negativ; und so gibt *(1)* für alle Fälle, ob die Massen gleich oder ungleich sind, das Resultat des Stosses.

Aus der Gleichung *(1)* folgt

$$M(C - u) = m(u - c)$$

oder

$$(C - u) : (u - c) = m : M \ldots (2),$$

d. h. die Geschwindigkeitsänderungen beider Kugeln verhalten sich verkehrt wie ihre Massen.

Beim Stosse unelastischer Körper entsteht jederzeit ein Verlust an lebendiger Kraft. Vor dem Stosse ist die Summe der lebendigen Kräfte $MC^2 + mc^2$, nach demselben aber $(M + m)u^2$.

Der Verlust an Arbeitsgrösse W ist gleich dem halben Unterschiede der lebendigen Kräfte vor und nach dem Stosse, nämlich

$$MC^2 + mc^2 - (M + m)u^2 = 2W$$

oder
$$W = \frac{Mm}{M+m} \cdot \frac{(C-c)^2}{2},$$

und wenn man anstatt der Massen die Gewichte setzt

$$W = \frac{Qq}{Q+q} \cdot \frac{(C-c)^2}{2g}.$$

Bei Maschinen müssen daher alle Stösse bei der Mittheilung und Fortpflanzung der Bewegung möglichst vermieden werden, nicht nur um die Maschinentheile zu schützen, sondern auch um dem Verluste an lebendiger Kraft vorzubeugen.

b) Gerader centraler Stoss elastischer Kugeln. Stossen zwei vollkommen elastische Kugeln in Richtungen, die durch ihren Mittelpunkt gehen, auf einander, so wirken sie anfänglich wie unelastische Kugeln, sobald sie aber die gemeinschaftliche Geschwindigkeit u erlangt haben, erfolgt zufolge ihrer geweckten Elasticitäten eine der sie hervorrufenden Kraft gleiche Rückwirkung. Da nun jede Kugel mit derselben Kraft, mit welcher sie eben zusammengedrückt wurde, von der Berührungsfläche abprallt, so wiederholt sich bei der einen der Gewinn $u - c$, bei der anderen der Verlust an Geschwindigkeit $C - u$, so dass bei M der ganze Verlust an Geschwindigkeit $2\,(C - u)$ und bei m der Gewinn $2\,(u - c)$ ist; mithin sind die resultirenden Geschwindigkeiten

$$V = C - 2\,(C - u) = 2u - C$$
$$v = c + 2\,(u - c) = 2u - c.$$

Substituirt man darin den Werth für u, so ist

$$V = \frac{2mc + (M-m)\,C}{M+m},\ v = \frac{2MC - (M-m)\,c}{M+m} \quad \ldots (3).$$

Für $M = m$, folgt $V = c$ und $v = C$, d. h. zwei gleich grosse Kugeln vertauschen während des Stosses ihre Geschwindigkeit. — War m in Ruhe, so ist $c = o$, folglich $V = o$ und $v = C$, d. h. die stossende Kugel bleibt in Ruhe, während die früher ruhende mit der Geschwindigkeit und in der Richtung der stossenden sich bewegt.

Haben die Massen vor dem Stosse entgegengesetzte Richtungen, so ist c negativ zu setzen und man erhält für $M = m$,

$V = -c$ und $v = C$, d. h. jede der zwei gleich grossen Kugeln bewegt sich nach dem Stosse mit der Geschwindigkeit und in der Richtung, welche die andere vor dem Stosse hatte.

Befindet sich M in Ruhe und ist seine Masse bezüglich m sehr gross, so ist $C = o$ und

$$v = -\frac{(M - m)}{M + m} c \text{ nahe} = -c$$

und $$V = \frac{2mc}{\infty} \text{ nahe} = o,$$

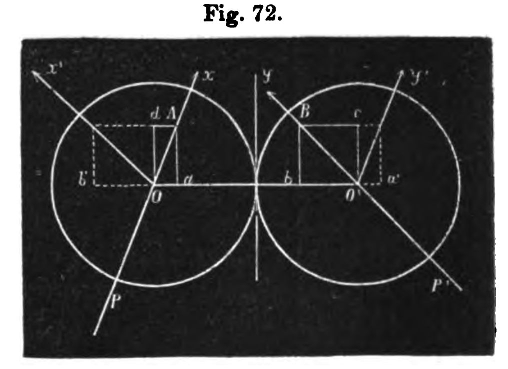
d. h. der anstossende Körper springt mit seiner früheren Geschwindigkeit zurück, der gestossene bleibt aber in Ruhe.

Beim Stosse elastischer Kugeln findet kein Verlust an lebendiger Kraft statt, denn es ist die Summe der lebendigen Kräfte nach dem Stosse gleich der Summe vor dem Stosse $MV^2 + mv^2 = MC^2 + mc^2$, wie es sich aus der Substitution der Werthe für V und v ergibt.

Die verschiedenen Gesetze des Stosses lassen sich mit der sogenannten Stossmaschine nachweisen.

c) Schiefer centraler Stoss zweier Kugeln. Beim schiefen Stosse lassen sich die Geschwindigkeiten des Mittelpunktes jeder Kugel in zwei Componenten zerlegen, wovon die eine in die Centrallinie, die andere darauf senkrecht fällt. Die gegen die Centrallinie senkrechten Componenten streben die Kugeln an einander vorbei zu führen, tragen nichts zum Stosse bei und erleiden deswegen auch keine Veränderung, daher wirken die Kugeln nur mit den in die Centrallinie fallenden Componenten wie beim geraden centralen Stosse auf einander. Nach den gefundenen Ausdrücken lässt sich der Erfolg des Stosses zufolge dieser Componenten bestimmen und dann mit den ungeändert gebliebenen Componenten zu einer Resultirenden vereinigen, welche die Bewegung nach

Fig. 72.



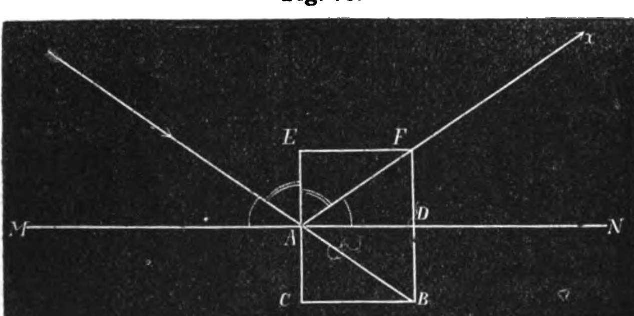
dem Stosse angibt. Sind die Kugeln gleich gross (Fig. 72), so vertauschen sie die in die Centrallinie fallenden Componenten Oa und O_1b, worauf sich diese als O_1a_1 und Ob_1 mit den unveränderten Componenten O_1c und Od zusammensetzen und die nach y' und x' gerichteten Resultirenden geben.

d) **Stoss einer Kugel gegen eine unbewegliche Wand.** Stösst eine Kugel in senkrechter Richtung gegen eine feste Wand von einer Masse M und sind Kugel und Wand unelastisch, so ist u nahe $= \frac{mc}{m + \infty} = o$, d. h. die anstossende Kugel verliert ihre ganze Geschwindigkeit und auch die Wand bleibt in Ruhe.

Ist aber sowohl die Kugel als die Wand elastisch, so haben wir gefunden $v = - c$, d. h, die Kugel springt mit ihrer früheren Geschwindigkeit in der gerade entgegengesetzten Richtung ab.

Bei dem schiefen Stosse gegen eine Wand zerfällt die Bewegung der Kugel in eine gegen die Wand senkrechte und in eine damit parallele Componente. Nur die senkrechte Componente erleidet durch den Stoss eine Veränderung und verschwindet, wenn Kugel und Wand unelastisch sind, so dass die Kugel längs der Wand fortgleitet, wie dies beim Kegelschieben annäherungsweise geschieht.

Fig. 73.



Reflexionsgesetz. Sind aber Wand und Kugel elastisch, so springt die Kugel (Fig. 73) mit der senkrechten Componente $AC = AE$ in der dieser gerade entgegengesetzten Richtung ab, und es setzt sich AE mit der ungeändert gebliebenen Com-

ponente AD zu einer nach x gerichteten Resultirenden zusammen.

Man ersieht aus der Figur, dass die Kraft AB, oder die Geschwindigkeit der auffallenden Kugel gleich ist AF und der Winkel a = b, d. h. die Kugel verlässt die Wand mit ihrer früheren Geschwindigkeit und unter demselben Winkel, unter dem sie auffiel, und bleibt in der Einfallsebene MAE. — Dieser Satz umfasst das Gesetz der Zurückwerfung oder der Reflexion.

Bei unvollkommener Elasticität erreicht AE nicht die Grösse von AC, weshalb sowohl die Geschwindigkeit als auch die Neigung gegen die Wand mit dem Stosse abnimmt.

Eine gegen die Oberfläche des Wassers in sehr schiefer Richtung abgeschossene Kugel kann wegen der Elasticität des Wassers abprallen und noch einen am gegenüber liegenden Ufer befindlichen Gegenstand treffen. — Auf den Gesetzen des Stosses einer elastischen Kugel gegen eine andere ruhende von gleicher Masse, wie auch gegen eine feste Wand, beruht das Billardspiel; doch muss dabei berücksichtigt werden, dass bei einem centralen Stosse durch die Reibung am Tuche eine drehende progressive Bewegung entsteht, die aber durch einen durch den untern Theil der Kugel excentrisch geführten Stoss in eine blos progressive umgewandelt werden kann, wonach erst der Stoss nach den hier angeführten Gesetzen erfolgt. — Soll man grosse Stösse aushalten, so muss man sich mit einer grossen elastischen Masse dem Anstosse entgegen setzen, wie dies aus $V = \frac{2mc}{\infty} = o$ hervorgeht, so z. B. wirkt der Ambos.

§. 42. **Hindernisse der Bewegung.** In den Untersuchungen über die Bewegung der Körper wurde der Einfachheit wegen keine Rücksicht genommen auf die Hindernisse, welche ihrer Bewegung im Wege stehen. Der Erfahrung gemäss sind aber die Hindernisse sehr beträchtlich. Die hauptsächlichsten Hindernisse bestehen in dem Widerstande der Reibung und in dem Widerstande des Mittels.

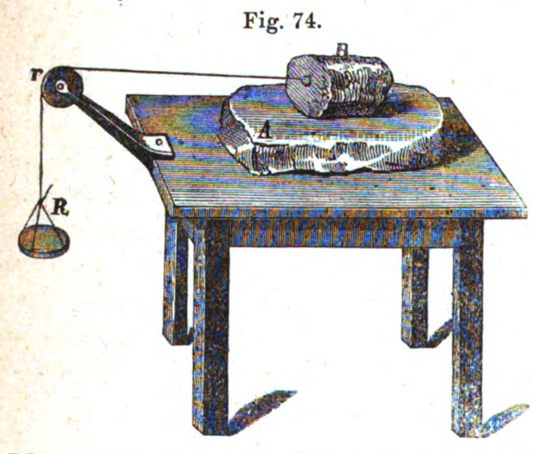
a) Widerstand der Reibung. Der aus der Unebenheit der sich berührenden Oberflächen zweier Körper hervorgehende Widerstand wird Reibung, auch Friction, genannt. Je nachdem die Bewegung eine gleitende oder rollende ist, entsteht eine gleitende oder rollende Reibung. — Die rollende Reibung leistet einen geringern Widerstand, da die Erhabenheiten, die an den Oberflächen in die Vertiefungen eingesunken waren, herausgehoben und nicht wie bei der gleitenden Bewegung geebnet

und zum Theile abgerissen werden müssen. — Hinsichtlich der Reibung hat man vorzüglich folgende Erfahrungen gemacht:

1. Die Reibung wächst mit der Rauhigkeit der sich reibenden Flächen. 2. Die Reibung wächst proportional mit dem gegenseitigen Drucke der sich berührenden Körper. 3. Die Reibung zwischen homogenen Massen ist grösser als zwischen heterogenen. 4. Bei Hölzern ist sie grösser, wenn die Fasern der sich reibenden Flächen parallel laufen, als wenn sich dieselben kreuzen. 5. Mit der Erhöhung der Temperatur wächst die Reibung bei Metallen, bei Hölzern wird sie durch Feuchtigkeit vermehrt. 6. Die Reibung hängt nicht allein von der Materie, sondern auch von der Cohäsion der angewandten Schmiere und von der Adhäsion derselben an dem geriebenen Körper, aber fast gar nicht von der Geschwindigkeit der Bewegung ab; ist aber beim Beginn viel grösser als während der Bewegung.

Um die Grösse der Reibung jedesmal leicht zu finden, muss man den Reibungs-Coëfficienten kennen. Die Versuche lehren, dass für dieselben zwei sich reibende Materiale das Verhältniss der Reibung R zur Last Q constant ist. Diese Constante $\frac{R}{Q} = \mu$ nennt man den Reibungcoëfficienten.

Fig. 74.



Zur Bestimmung des Reibungs-Coëfficienten dient der sogenannte Tribometer (Fig. 74), auch Reibungsmesser genannt. Auf die horizontale ebene Fläche eines Körpers A legt man einen zweiten B mit seiner ebenen Fläche. Dieser leistet nun einen Druck Q auf A. Man legt in die an der Schnur hängende Wagschale so lange Gewichte, bis eine gleichförmige Bewegung erfolgt. Diese Gewichte R sind das Maass der gleitenden Reibung, also hat man, den Reibungs-Coëfficienten mit μ bezeichnend,

$$Q \cdot \mu = R,$$

d. h. man erhält den Reibungs-Coëfficienten für ein vorliegendes Material, wenn man das zur Ueberwindung der Reibung erforderliche Gewicht durch das Gewicht des dadurch in Bewegung versetzten Körpers dividirt. — So fand man für Eisen auf Eisen $\mu = \frac{1}{7}$, für Eichenholz auf Eichenholz bei parallel laufenden Fasern $\mu = \frac{1}{2}$, für Eisen auf Eichenholz $\mu = \frac{1}{4}$ u. s. w.

Bezüglich der rollenden Bewegung haben die Versuche gezeigt, dass die Reibung R dem Drucke Q direct und dem Halbmesser r der Walze verkehrt proportional ist, d. h.

$$R = \gamma \cdot \frac{Q}{r},$$

wo γ der Reibungs-Coëfficient für die rollende Reibung ist.

Findet die Bewegung mit der constanten Geschwindigkeit c statt, so ist der durch die gleitende Reibung herbeigeführte Verlust an Arbeit per Secunde

$$E = R \cdot c.$$

b) Widerstand des Mittels. Das Bewegliche ist in der Regel von einem flüssigen Körper umgeben, z. B. von Luft oder Wasser. Dieser Körper, das Mittel der Bewegung genannt, muss von dem Beweglichen erst aus dem Wege geräumt werden und leistet dabei, wie jede träge Masse, einen Widerstand, zu dessen Ueberwindung ein Theil der bewegenden Kraft verbraucht wird. Darnach hängt der Widerstand des Mittels ab 1) von der Dichte des Mittels und nimmt mit derselben zu, daher fallen Körper viel langsamer im Wasser als in der Luft; 2) von der Grösse und Gestalt des Beweglichen, und 3) wächst er mit der Grösse der Fläche, mit welcher dasselbe gegen das Mittel ankämpft; 4) der Widerstand wächst auch mit der Geschwindigkeit und zwar im Allgemeinen im quadratischen Verhältnisse.

Ausser den unter a) und b) angeführten Widerständen der Bewegung pflegt man bei Maschinen noch einen besondern Widerstand der Fortpflanzungsorgane zu unterscheiden, der durch Schnüre, Stricke, Seile, Laufriemen, Ketten etc. entsteht, wo durch diese die Bewegung von einem Theile der Maschine zu einem andern fortgepflanzt wird.

Wie die Widerstände der Bewegung Abbruch thun, so gewähren sie wieder viele Vortheile. Auf der Reibung beruht das Stehen und Gehen auf einer schiefen Ebene, das Fortgreifen der Maschinenräder auf den Eisenbahnschienen, das Befestigen durch Nägel, Keile, Schrauben etc. Auf dem Widerstande des Mittels beruht wieder das Fliegen der Vögel, das Schwimmen, die Anwendung des Ruders, der Schaufelräder bei Dampfschiffen, die Einrichtung eines Fallschirmes etc.

Vierter Abschnitt.

Hydrostatik.

§. 1. Die Aufgabe der Hydrostatik ist, die Gesetze zu entwickeln, unter welchen tropfbare Flüssigkeiten bei der Einwirkung von Kräften im Gleichgewichte stehen.

Die flüssigen Körper haben die charakteristische Eigenschaft, dass ihre Theilchen äusserst leicht verschiebbar und beweglich sind. Die Folge davon ist, dass die Theilchen der Flüssigkeiten schon durch die geringsten Kräfte in Bewegung versetzt werden, während die Theilchen fester Körper einen bedeutenden Widerstand entgegensetzen.

Zwischen den Theilchen der tropfbar-flüssigen Körper besteht noch eine schwache Cohäsion, die durch jene Kraft gemessen werden kann, welche eine an der Oberfläche der Flüssigkeit adhärirende Platte abzureissen im Stande ist; zwischen den Theilchen ausdehnsam flüssiger Körper hingegen herrscht das Bestreben, sich mehr und mehr von einander zu entfernen, und sich im Raume immer weiter auszubreiten. — Beide Arten flüssiger Körper sind zusammendrückbar, allein während sich die ausdehnsamen sehr leicht zusammendrücken lassen, bewirkt bei

tropfbaren Flüssigkeiten selbst die Anwendung sehr grosser Druckkräfte nur eine sehr geringe Volumänderung, weshalb sie meist als unzusammendrückbar angesehen werden können.

Unter den auf eine Flüssigkeit wirkenden Kräften kommen besonders in Betracht: der äussere Druck, die Schwerkraft und die Moleculärkräfte der Flüssigkeitstheilchen unter einander und der Wand- und Flüssigkeitstheilchen gegen einander.

§. 2. Gleichgewicht einer Flüssigkeit, die der Einwirkung äusserer Kräfte ausgesetzt ist. Das Gleichgewicht in einer flüssigen Masse kann wegen der äusserst leichten Verschiebbarkeit ihrer Theilchen nur dann bestehen, wenn Kräfte, die auf irgend ein Theilchen im Inneren der Masse wirken, sich gegenseitig aufheben, d. h. wenn jedes Theilchen von allen Seiten gleich gedrückt wird; und wenn Kräfte, die auf Theilchen der freien Oberfläche wirken, eine Resultirende geben, die normal einwärts gegen die Oberfläche gerichtet ist, indem eine tropfbare Flüssigkeit in dieser Richtung vermöge ihrer Unzusammendrückbarkeit einen Widerstand leistet, durch den jene Resultirende aufgehoben werden kann.

Gestalt der Oberfläche einer Flüssigkeit. In Folge der gegen den Erdmittelpunkt gerichteten Schwerkraft muss sich die Oberfläche jeder freien Flüssigkeit im Zustande des Gleichgewichtes so gestalten, dass die Richtungen der Schwerkräfte der Theilchen auf der Oberfläche senkrecht stehen. Die von einem Mittelpunkte ausgehenden Richtungen stehen aber nur auf einer Kugeloberfläche senkrecht, mithin muss die Oberfläche ruhiger Gewässer einen Theil der Kugeloberfläche der Erde bilden. Die grossen Meere zeigen deutlich die Kugelform ihrer Oberfläche; an der Oberfläche wenig ausgedehnter Gewässer, z. B. unserer Teiche und kleiner Seen ist die sphärische Krümmung wegen der zu geringen Ausdehnung nicht bemerkbar, wie man dies auch leicht begreift, da bei geringen Entfernungen die Richtungen der Schwerkräfte für parallel anzusehen sind. Daher steht die Oberfläche des ruhigen Wassers im Kleinen genommen auf der Verticallinie des Ortes senkrecht und ist somit horizontal oder wasserrecht.

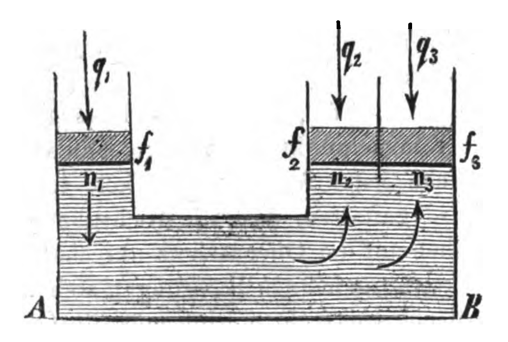
Man nennt die ruhige Oberfläche Wasserspiegel oder

Niveau, und jede zum Niveau parallele Fläche heisst eine Niveaufläche.

§. 3. **Princip der Gleichheit des Druckes.** Der auf eine tropfbare Flüssigkeit ausgeübte Druck pflanzt sich nach allen Richtungen in derselben ungeschwächt fort, so dass jede Flächeneinheit der Gefässwand genau denselben Druck erleidet. Dieses Verhalten nennt man das Princip der Gleichheit des Druckes.

Um dieses Princip zu begreifen, denken wir uns die Flüssigkeit im Gefässe *AB* (Fig. 75) wäre schwerlos, und berücksichtigen einzig und allein den auf sie ausgeübten Druck. Das mit Flüssigkeit gefüllte Gefäss denken wir uns mit 3 Stempeln (ohne Reibung) versehen; f_1, f_2, f_3 seien die Querschnitte oder Flächen derselben; n_1, n_2, n_3 die Anzahl Theilchen der Flüssigkeit, die sie berühren. — Wird nun auf den Stempel f_1 ein Gewicht q_1 ge-

Fig. 75.



setzt, so erleiden zunächst die n_1 Theilchen davon einen Druck; da aber im Innern der Flüssigkeit erst dann Gleichgewicht eintritt, wenn jedes Theilchen von allen Seiten gleich stark gedrückt wird, so erleiden offenbar die einzelnen Theilchen von f_2 und f_3 denselben Druck.

Ist $f_1 = f_2 = f_3$, so auch $n_1 = n_2 = n_3$. Drückt der erste Stempel mit q_1, so erleiden sowohl die n_1 als auch die n_2 und n_3 Theilchen, daher auch die Flächen f_1, f_2, f_3 den Druck q_1, weil die Anzahl der Theilchen gleich ist und jedes gleich stark gedrückt wird, d. h. der Druck pflanzt sich durch die Flüssigkeit unge-

schwächt fort, so dass gleiche Wandflächen den gleichen Druck erleiden.

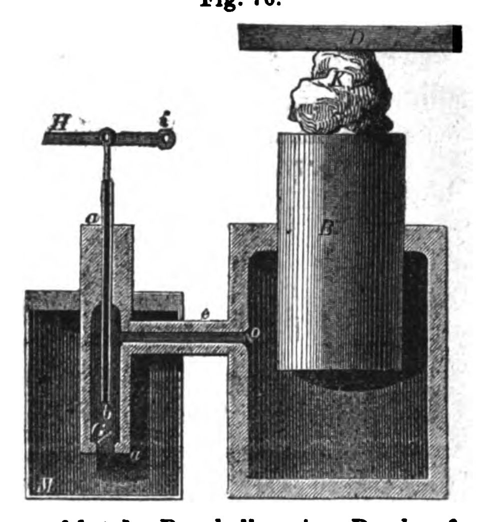
Denkt man sich nun die Stempel f_2 und f_3 durch einen anderen Stempel ersetzt, dessen Fläche $F = f_2 + f_3$, so erleidet F nun den Druck $Q = q_2 + q_3$; ist dabei $F = nf_1$, so ist $Q = n \cdot q_1$, daraus folgt

$$Q : q_1 = F : f_1$$

d. h. der von einer gedrückten Flüssigkeit gegen eine Wandfläche ausgeübte Druck wächst mit der Grösse der Fläche.

Auf der Thatsache, dass sich die auf die Wandungen des Gefässes ausgeübten Drucke gerade wie die gedrückten Flächen verhalten, beruht Bramah's hydraulische Presse (Fig. 76); *aa* ist ein hoher Cylinder, in welchem der Kolben *b* wasserdicht auf und ab beweglich ist, und taucht in ein gewöhnlich mit Wasser gefülltes Gefäss *M* ein, so dass beim Hinaufziehen des Kolbens *b* durch das Ventil bei *G* Wasser unter den Kolben tritt und beim Niederdrücken durch einen Kanal *e* in den zweiten hohlen Cylinder unter den viel breiteren Kolben *B* getrieben wird. Der Kolben *B*, Presskolben genannt, wird durch den Wasserdruck gegen einen zu pressenden Körper *K* getrieben, der zwischen ihm und einem festen Widerstande *D* liegt. Drückt den kleinen Kolben (Druckkolben) *b* irgend eine Kraft *P* herab, so erfährt der Presskolben einen Druck aufwärts, der den Druck *P* so oft übertrifft, als die Querschnittsfläche des kleinern Kolbens in jener des grössern enthalten ist. Und selbst die Kraft *P* kann schon dadurch, dass sie mittelst eines einarmigen Hebels *Hi* den Kolben *aa* hineintreibt, eine dem Gesetze des Hebels entsprechende Verstärkung erfahren, z. B. nP. Ist der Querschnitt des kleinern Kolbens $r^2\pi$, jener des grössern $R^2\pi$, so ist, von der Reibung abgesehen, der Druck Q gegen K durch $Q = \frac{nP \cdot R^2}{r^2}$ ausgedrückt. Ist z. B. $P = 20$ Pfund, $n = 10$, $R = 10\,r$, so ist $Q = 20 \cdot 10 \cdot 100 = 200$ Centner. Man kann aber leicht den Bestandtheilen das Verhältniss geben, dass ein Mann eine Pressung von 8000 bis 20,000 Centnern bewirken kann Man braucht diese Presse z. B. zum Auspressen des Saftes aus Runkelrüben in der Zuckerfabrikation, des Oeles aus ölhaltigen Samen, zum Pressen

Fig. 76.



von Tuch und Papier in der Tuch- und Papierfabrikation, zum Zusammendrücken faseriger Stoffe, wie des Heues zum leichtern Transport.

Aufgabe. Wie gross ist die Pressung oder Hebkraft einer hydraulischen Maschine, bei welcher die Fläche des Presskolbens 150mal grösser als die des Druckkolbens ist, wenn am einarmigen Hebel von 2 Meter Länge die Kraft von 80 Kilogramm senkrecht darauf wirkt und der Druckkolben im Abstande von 0·2 Meter angebracht ist?

Der Engländer J. Bramah brachte zuerst 1795 die hydraulische Presse in Anwendung. Der Franzose Pascal aber hat 1662 zuerst den Satz aufgestellt, dass der Wasserdruck mit der Grösse der gedrückten Fläche wächst.

Gleichgewicht unter dem alleinigen Einflusse der Schwerkraft.

§. 4. Gleichgewicht gleichartiger Flüssigkeiten in Communicationsgefässen. Gefässe, welche durch Canäle oder Röhren so mit einander verbunden sind, dass das Wasser frei aus dem einen in das andere treten kann, nennt man Communicationsgefässe. Figur 77 stellt ein solches Communicationsgefäss vor; *I*, *II*, *III* heisst man die Arme oder Schenkel desselben. — Wird eine Flüssigkeit hinein gegossen, so erscheint sie in allen Armen (wenn sie nicht Haarröhrchen sind) in demselben Niveau *AB*; d. h. eine gleichartige Flüssigkeit steht im Zustande des Gleichgewichtes in allen Armen eines Communicationsgefässes gleich hoch, mögen die Arme wie immer gestaltet sein.

Fig. 77.

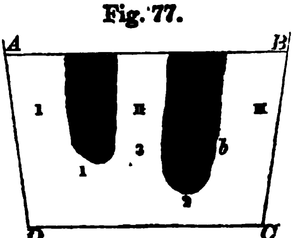
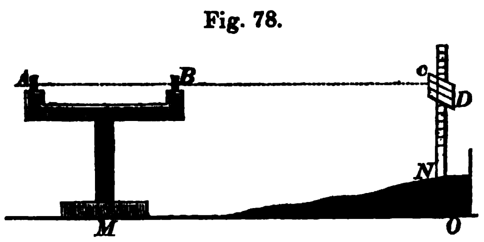


Fig. 78.



a) Auf dem Gesetze der communicirenden Gefässe beruht die zum Nivelliren dienende sogenannte Canalwage (Fig. 78). Sie besteht aus einer geraden blechernen Röhre *AB*, die auf einem Gestelle *M* ruht und in deren aufwärts gebogenen Röhren gläserne Cylinder *A* und *B* eingekittet sind. Wird die Röhre mit Wasser oder gefärbtem Weingeist gefüllt, so liegen die Oberflächen in beiden Armen in derselben horizontalen Ebene; sieht man längs des

Niveaus AB und stellt auf der Latte ND ein Brettchen in die Richtung ABC, so ist es leicht anzugeben, wie tief die Orte M und N unter der horizontalen AB liegen, und dadurch das verticale Gefälle NO zu bestimmen. Wie gross ist NO?

b) Bei Wasserleitungen kommt ebenfalls das Communicationsgesetz in Anwendnug, und es kann das Wasser von einer hoch gelegenen Wassersammlung durch Röhren sogar über Anhöhen geführt werden, so lange diese unter der Höhe der Wassersammlung bleiben. Bringt man am Ende einer Wasserleitung ein kurzes Ansatzrohr an, so steigt das Wasser aus demselben in die Höhe, weil es die Niveauhöhe der Sammlung zu erreichen strebt. — Springbrunnen.

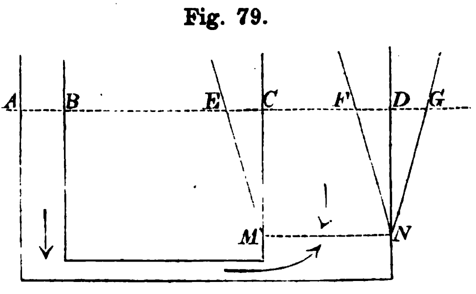
Das in der Erde vorkommende Grundwasser strebt zu derselben Höhe zu gelangen, welche das mit ihm communicirende Fluss-, See- oder Meerwasser hat; daher das Steigen des Wassers in Kellern und Brunnen, die mit Flüssen communiciren.

Die natürlichen Quellen entstehen meistens zufolge einer blossen Communication gewisser Stellen der Erdoberfläche mit wasserführenden Erdschichten. Wird an einem Orte ein Loch bis zur wasserführenden Erdschichte gebohrt oder gegraben, so bildet dieses einen Arm eines Communicationsgefässes, in welchem das Wasser zu der Höhe, von der es kommt, zu steigen strebt, und eine gewisse Höhe wie in gewöhnlichen Brunnen erreicht, oder wie bei den artesischen Brunnen über die Erdoberfläche hervorspringt.

§. 5. Druck einer schweren Flüssigkeit auf den horizontalen Boden des Gefässes.

a) Das hydrostatische Paradoxon. Denken wir uns ein Communicationsgefäss (Fig. 79) bis $ABCD$ mit einer Flüssigkeit gefüllt. Betrachten wir eine Niveaufläche MN, so muss diese im Zustande des Gleichgewichtes, wo die Flüssigkeit in beiden wie immer gestalteten Armen gleich hoch steht, von oben und unten einen gleichen Druck erfahren.

Fig. 79.



Nennen wir den von der Flüssigkeitssäule im Arme AB herrührenden und aufwärts auf MN wirkenden Druck Q, und den von CD abwärts wirkenden Druck P bei verticaler Stellung der Wände CM und ND, P_1 bei schiefer Lage ME und NF, und P_2 bei dem beiderseits erweiterten Arme $EMNG$, und setzen voraus, dass die Oberfläche der Flüssigkeit dem weiteren und engeren

Gefässe in demselben Niveau erhalten wird; so ist der **Druck** Q in allen drei Fällen **unverändert** geblieben, aber es herrscht jedesmal Gleichgewicht, daher ist nothwendig

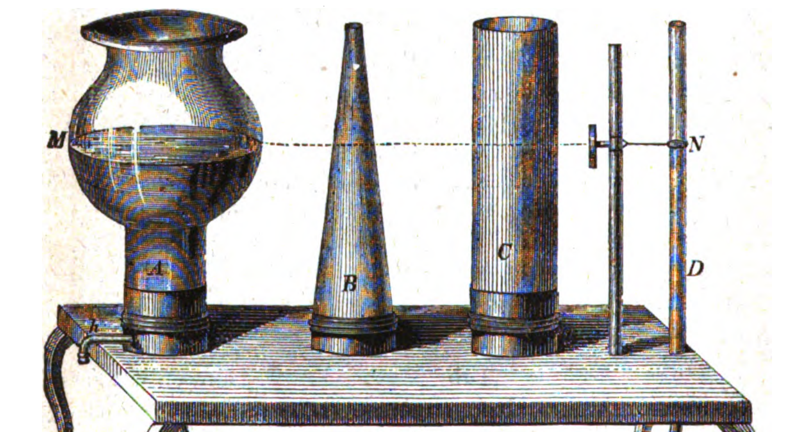
$$Q = P;\ Q = P_1;\ Q = P_2$$

oder

$$P_1 = P_2 = P,$$

d. h. der Druck auf die Niveaufläche MN, oder auf den sie vertretenden Boden MN, ist von der Gestalt des Gefässes, dessen Boden MN ist, folglich auch von der Masse der Flüssigkeit ganz unab-

Fig. 80.



hängig. So lange also die Bodenfläche, die Höhe der Flüssigkeit und die materielle Beschaffenheit derselben unverändert bleibt, bleibt auch der **Bodendruck** unverändert, mag die Masse der in dem Gefässe enthaltenen Flüssigkeit gross oder klein sein. — Dieser Satz heisst das **hydrostatische Paradoxon.**

Das hydrostatische Paradoxon lässt sich mittelst des **Pascal'schen** oder **Haldat'schen** Apparates nachweisen und ist an Fig. 80 leicht zu erörtern. Denn man kann das Gefäss B oder C an die Stell von A setzen und den Stand der Flüssigkeit in den durch ab verbundenen Gefässen beobachten.

b) **Bodendruck.** Um die Grösse des Bodendruckes zu bestimmen, denken wir uns ein Gefäss $MCDN$ (Fig. 79) mit verticalen Seitenwänden. Wenn wir annehmen, dass die Flüssigkeitssäule $MNDC$ keine Reibung an den Wänden erfährt, so drückt sie mit ihrem ganzen Gewichte auf den Boden MN. Ihr Gewicht P ist aber gleich der Basis $MN = B$ multiplicirt mit der Höhe der Säule $MC = H$ und mit dem specifischen Gewichte S der Flüssigkeit, also ist $P = BHS$ die Grösse des Bodendruckes, d. h. man erhält den hydrostatischen Druck einer Flüssigkeit auf den horizontalen Boden eines Gefässes, wenn man die Basis mit der Höhe und dem specifischen Gewichte der Flüssigkeit multiplicirt.

Fig. 81.

In der Real'schen Presse (Fig. 81) wird durch eine geringe Wassermenge, womit eine hohe Röhre gefüllt ist, ein grosser Druck auf einen Boden cb ausgeübt. Man benützt diesen starken Wasserdruck in der Real'schen Presse, um aus gepulverten und früher angefeuchteten Körpern Extracte zu bereiten. Das Pulver, z. B. Kaffee, wird fest eingestampft, mit einem Sieb oben zugedeckt und das Gefäss zugemacht. Das Wasser dringt mit starkem Drucke in die gepulverte Substanz ein und löset die löslichen Theile auf, wie dies sonst durch Auskochen und nachheriges Abdampfen des Absudes zu geschehen pflegt.

Auch die zum Auspumpen der Grubenwasser in Bergwerken angewendete Wassersäulenmaschine beruht auf dem hydrostatischen Drucke einer geringen Wassermenge; ebenso der sogenannte hydrostatische Blasebalg, den man als Wage gebrauchen kann.

Aufgabe. Wie gross ist der Druck, den die Bodenfläche eines anatomischen Hebers von 1 Quadratdecimeter erfährt, wenn die Höhe des Wasserstandes 10 Meter und das Gewicht des Wassers 3 Kilogramm beträgt?

§. 6. **Druck in der Tiefe und gegen eine Seitenwand des Gefässes.** Der Druck, den eine Flüssigkeit im Zustande des Gleichgewichtes gegen eine in Berührung stehende Fläche ausübt, kann nur in einer auf dieser Fläche senkrechten Richtung erfolgen, da sich nur in dieser Richtung ein Widerstand der Wand äussern kann. Also können wir nur von einem Normaldruck auf eine Fläche reden. Jedes an einer Fläche des Gefässes liegende

13*

Theilchen der Flüssigkeit drückt gegen diese Fläche mit der nämlichen Kraft, mit welcher es selbst gedrückt wird. Liegen nun mehrere Theilchen in den verschiedenen Tiefen h_1, h_2, h_3, . . . und sind ihre Druckkräfte

$$p_1 = bh_1s, \quad p_2 = bh_1s, \quad p_3 = bh_3s,$$

so verhalten sich

$$p_1 : p_2 : p_3 : \ldots = h_1 : h_2 : h_3 : \ldots$$

d. h. der Druck auf die Flüssigkeitstheilchen und auf die Seitenwände wächst wie die Tiefe unter dem Niveau.

Der Druck einer Flüssigkeit auf eine schiefe oder verticale Wandfläche ist gleich der gedrückten Fläche multiplicirt mit dem Abstande ihres Schwerpunktes vom Niveau und mit dem specifischen Gewichte der Flüssigkeit.

a) Mittelpunkt des Seitendruckes. Den Angriffspunkt der Resultirenden der gegen eine Fläche wirkenden Druckkräfte heisst man **Mittelpunkt des Druckes**. Bei einer horizontalen Fläche fällt er mit dem Schwerpunkte derselben zusammen, bei schiefen und verticalen Wänden liegt er hingegen immer **tiefer** als der Schwerpunkt, weil der Druck auf gleiche Flächentheile mit der Tiefe wächst, der Angriffspunkt aber den stärkeren Kräften im Verhältnisse näher liegt. — Bei einer rechteckigen verticalen Seitenwand liegt er $^2/_3$ der verticalen Halbirungslinie dieser Seitenwand unter dem Niveau.

b) Reaction. Auf dem einseitigen hydrostatischen Seitendrucke beruht die sogenannte **Reaction** oder **Rückwirkung** einer ausströmenden Flüssigkeit und die durch sie veranlasste Bewegung des Gefässes.

Versuch. Ein mit Wasser gefülltes Gefäss wird pendelartig aufgehängt und an einer Stelle der Seitenwand eine Oeffnung gemacht, durch die das Wasser ausströmen kann. So lange die Wandfläche zugemacht ist, erleiden die einander horizontal gegenüberstehenden Seitenwände den gleichen Druck; daher ist die Resultirende Null. Nimmt man aber auf einer Seite ein Stück der Seitenwand weg, indem man sie öffnet, so hört an dieser Stelle der Seitendruck auf, während auf der entgegengesetzten Seite ein Druck als Resultirende wirkt, der dem Drucke auf die Fläche der Oeffnung gleich ist. Das Gefäss muss sich daher nach einer

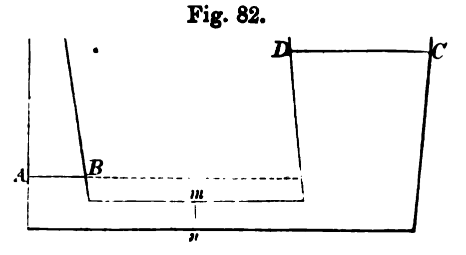
der Richtung des ausfliessenden Wassers entgegengesetzten Richtung bewegen. Die Kraft der Bewegung ist gleich der Kraft des Ausflusses.

Auf der Reaction der ausströmenden Flüssigkeit beruht die Einrichtung des Segner'schen Rades etc.

§. 7. **Gleichgewicht verschiedener Flüssigkeiten in einem Communicationsgefässe.** Giesst man in eine heberförmig gebogene verticale Röhre etwas Quecksilber und darauf im längeren Schenkel so viel Wasser, dass das Quecksilber im kürzeren Schenkel 1 Zoll über seinem zweiten Niveau steht, so beträgt die Höhe der Wassersäule 13·6 Zoll, d. h.?

In dem Communicationsgefässe Fig. 82 denken wir uns zwei verschiedenartige Flüssigkeiten durch ein in dem Verbindungs-Canale absolut leicht verschiebbares Plättchen mn von einander getrennt und im Zustande des Gleichgewichtes. Beide Flüssigkeiten haben dieselbe Basis $mn = b$, die eine das specifische Gewicht s und die Höhe h, die andere S und H. Im Zustande des Gleichgewichtes müssen sich aber die beiderseits auf mn wirkenden Kräfte aufheben, also einander gleich sein; d. h. $bhs = bHS$ oder $hs = HS$, und daraus

Fig. 82.



$$H : h = s : S.$$

Verschiedene Flüssigkeiten, die sich nicht mischen, stehen in Communicationsröhren im Gleichgewichte, wenn sich ihre Höhen verkehrt wie die specifischen Gewichte verhalten.

Man kann mit Hilfe dieses Satzes die specifischen Gewichte und die Dichten zweier Flüssigkeiten mit einander vergleichen.

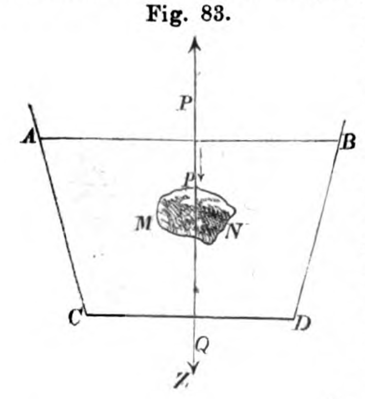
§. 8. **Das Archimed'sche Princip.** Archimedes entdeckte das Gesetz (250 v. Chr.): Ein in eine Flüssigkeit eingetauchter Körper verliert so viel an Gewicht, als die verdrängte Flüssigkeit wiegt.

Zur Nachweisung dieses Gesetzes bedient man sich eines Doppelcylinders. Man bringt ihn an der hydrostatischen Wage in's Gleichgewicht; dann wägt man den massiven Cylinder im Wasser ab; er erleidet einen Gewichtsverlust, man stellt

aber wieder Gleichgewicht durch Zuleggewichte her. Diese Zuleggewichte geben den Gewichtsverlust an. — Darauf nimmt man das Wasser weg, füllt aber den hohlen Cylinder mit Wasser; jetzt wird das Gleichgewicht wieder gestört, aber es wird sogleich wieder hergestellt, wenn man den Gewichtsverlust in die zweite Wagschale legt. — Jetzt hat man das verdrängte Wasser abgewogen und das Gewicht gleich dem Gewichtsverlust gefunden.

Es befinde sich in dem Gefässe $ABCD$ (Fig. 83) eine Flüssigkeit im Zustande des Gleichgewichtes; MN sei eine beliebig gestaltete Masse derselben, von der wir annehmen wollen, dass sie ohne Veränderung des Volums fest werde. Da beim Festwerden die Schwerkräfte keine Aenderung erleiden und daher keine neue Kraft zuwächst, so muss das Gleichgewicht fortbestehen. Besteht aber Gleichgewicht, so muss das vertical abwärts ziehende Gewicht Q dieser Masse sammt dem mit ihm in gleichem Sinne wirkenden Drucke p der darüber befindlichen Flüssigkeit durch eine direct entgegengesetzt wirkende Kraft P aufgehoben werden, d. h. es muss

Fig. 83.



$$P = Q + p \quad \text{sein;}$$

oder

$$P - p = Q.$$

Den auf einen eingetauchten Körper vertical aufwärts ausgeübten Druck $(P - p)$ nennt man den Auftrieb oder die Tragkraft der Flüssigkeit.

Da die Grösse und Gestalt der Masse MN beliebig ist, so kann man jeden Körper vom Gewichte Q_1 an ihre Stelle bringen, und es wird die Flüssigkeit einen Auftrieb vertical aufwärts auf ihn äussern, so dass nach unten nur noch der Zug

$$Q_1 - (P - p) = q$$

oder

$$Q_1 - Q = q \ldots (1)$$

übrig bleibt; d. h. das Gewicht Q_1 eines in die Flüssigkeit eingetauchten Körpers erscheint um das Gewicht Q der verdrängten Flüssigkeit vermindert. — Dieser Satz heisst das Archimed'sche Princip.

9. §. Folgerungen aus dem Archimed'schen Principe.

a) Das Schwimmen der Körper. Bezeichnet man mit Q_1 das Gewicht des Körpers, mit Q den Gewichtsverlust, so wird

sein (scheinbares) Gewicht q im Wasser nach dem Archimed'schen Principe ausgedrückt durch

$$q = Q_1 - Q.$$

In dieser Gleichung kann

$$Q_1 - Q \gtreqless o \text{ sein.}$$

Heisst V das Volumen eines eingetauchten Körpers, S sein specifisches Gewicht, v das Volumen der durch den Körper verdrängten Flüssigkeit und s ihr specifisches Gewicht, so ist die Kraft, welche den Körper vertical zieht

$$Q_1 = VS \text{ und der Auftrieb } Q = vs.$$

Der Körper wird sich beim Eintauchen so drehen, dass diese Kräfte direct entgegengesetzte Richtungen bekommen, d. h. dass die Schwerpunkte des Körpers und der verdrängten Flüssigkeit in dieselbe verticale Linie zu liegen kommen, weil erst dann das Gleichgewicht eintritt.

Ist der Körper ganz eingetaucht, so ist $V = v$, mithin

$$V.(S - s) \gtreqless o.$$

Ist nun $S > s$, folglich auch $D > d$ (wo D und d die bezüglichen Dichten sind), so wird der Ausdruck positiv, d. h. der Körper erfährt noch einen Zug $+ q$ abwärts, und wird sinken; ist $S = s$, folglich auch $D = d$, so wird er an jeder Stelle in der Flüssigkeit sich ruhig verhalten oder schweben; ist endlich $S < s$, also auch $D < d$, so ist der Zug negativ, d. h. der Zug erfolgt aufwärts und der Körper steigt in die Höhe.

Ein eingetauchter Körper, dessen Dichte kleiner ist als die der Flüssigkeit, steigt aber nur so lange Zeit in die Höhe, bis der noch eingetauchte Theil v ein Volumen v von der Flüssigkeit verdrängt, dessen Gewicht Q gleich ist seinem Gewichte Q_1, mithin hat man für das Gleichgewicht eines auf der Oberfläche schwimmenden Körpers $Q = Q_1$. Nun ist aber

$$Q = vs, \; Q_1 = VS, \text{ also } vs = VS$$

oder

$$V : v = s : S = d : D,$$

d. h. das ganze Volumen des Körpers verhält sich zu dem Volumen des eingetauchten Theiles (oder der verdrängten Flüssigkeit), wie die Dichte der Flüssigkeit zu der Dichte des Körpers.

Je dichter also die Flüssigkeit, ein desto kleineres Volumen des Körpers bleibt eingetaucht.

b) Taucht man einen und denselben Körper nach einander in Flüssigkeiten von verschiedenen specifichen Gewichten s und s_1 ein, so hat man für das Gleichgewicht (Gewicht des Körpers = Gewicht der Flüssigkeit) in der ersten $Q_1 = VS = vs$ und in der zweiten $Q_1 = VS = v_1\ s_1$, mithin $vs = v_1\ s_1$ oder

$$v : v_1 = s_1 : s = d_1 : d \ldots (1),$$

d. h. die eingetauchten Volumtheile verhalten sich umgekehrt wie die Dichten oder specifischen Gewichte der Flüssigkeit.

c) Wird ein Körper aus einer specifisch leichtern in eine specifisch schwerere Flüssigkeit versetzt, und soll er in letzterer ebenso tief wie in ersterer einsinken, so muss sein absolutes Gewicht P vermehrt werden, also $P + p$ sein. Dann ist $P = vs$, $P + p = vs_1$, daher

$$P : (P + p) = s : s_1 = d : d_1 \ldots (2),$$

d. h. je grösser die Dichte einer Flüssigheit ist, desto grösser muss das Gewicht des Körpers sein, damit er von beiden Flüssigkeiten ein gleiches Volum verdrängt oder gleich tief einsinkt.

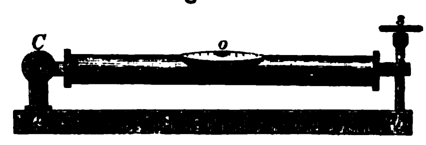
d) Man kann aber auch specifisch schwere Körper, wo $S > s$ ist, auf einer leichteren Flüssigkeit zum Schwimmen bringen, wenn man sie entweder mit einem hinreichend grossen specifisch leichtern Körper verbindet, oder indem man sie aushöhlt. Darauf beruht die Anwendung des Schwimmpanzers und des Schwimmgürtels aus Korkholz, die Verwendung der Pontons zur Herstellung von Schiffbrücken, oder leerer, zugespundeter Fässer, um mit ihrer Hilfe versunkene Gegenstände aus der Tiefe empor zu heben. Beim Baue massiver Schiffe muss die Höhlung mit der aufzunehmenden Last in das gehörige Verhältniss gebracht werden.

e) Luftförmige Körper steigen in Flüssigkeiten, wo sie nicht absorbirt werden, ganz in die Höhe und entweichen, wenn sie nicht durch einen luftdichten Verschluss zurückgehalten werden. Sind sie aber einmal mit der Flüssigkeit eingeschlossen, so schwimmen sie bei jeder Lage zu oberst, so dass durch sie die höchste Stelle des innern Gefässraumes bezeichnet wird. Darauf beruht die zur Horizontalstellung einer Ebene oder eines Instrumentes gebrauchte Wasserwage oder Libelle (Fig. 84). Sie besteht aus einer sehr schwach gekrümmten cylindrischen Glasröhre, die bis auf eine kleine Luftblase mit



Weingeist gefüllt ist. Der höchste in der Mitte der Röhre gelegene Punkt ist mit *o* bezeichnet, rechts und links sind noch gleichweit abstehende Theilstriche zur Beurtheilung des Standes. Sehr oft ist die messingene Fassung der Libelle unten mit einer ebenen Fläche *ab* versehen, so dass, wenn diese Fläche eine horizontale Lage hat, die Mitte der Blase mit dem Nullpunkte zusammenfällt.

Fig. 84.

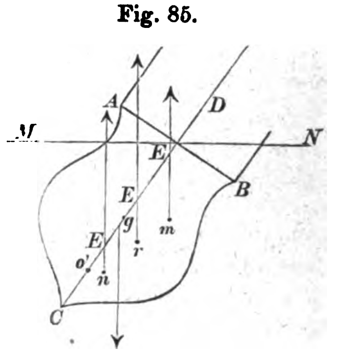


Aufgaben. 1) Wie gross ist die Tragkraft von 1 Kubikmeter Fichtenholz von der Dichte 0·5 im Wasser und wie gross im Quecksilber?

2) Es soll aus Eisen eine Hohlkugel gemacht werden, die nur zur Hälfte im Wasser einsinkt, wie verhält sich der Halbmesser der hohlen zur ganzen Kugel?

§. 10. **Gleichgewicht schwimmender Körper.** Das Gleichgewicht eines schwimmenden Körpers ist bald stabil, bald labil. Es sei *ABC* (Fig. 85) der verticale durch den Schwerpunkt gehende Durchschnittt eines schwimmenden Körpers, *DC* sei in der Gleichgewichtslage die verticale Linie, in welcher sowohl der Schwerpunkt *g* des Körpers als der Schwerpunkt *E* (das mittlere *E* der Figur) oder *o'* der verdrängten Flüssigkeit liegt. Wird der Körper durch äussere Einwirkung in eine schiefe Lage gebracht, so kommt die Linie *CD* in eine geneigte Stellung; die Grösse des Auftriebes bleibt dieselbe, weil sich das Volumen der verdrängten Flüssigkeit nicht ändert, aber die verdrängte Flüssigkeitsmasse wird jetzt auf der einen Seite grösser, daher wird der Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit gegen die vergrösserte Hälfte von dem in der Mitte liegenden Punkte *E* nach *m* oder von *o'* nach *n* oder *r* rücken.

Fig. 85.



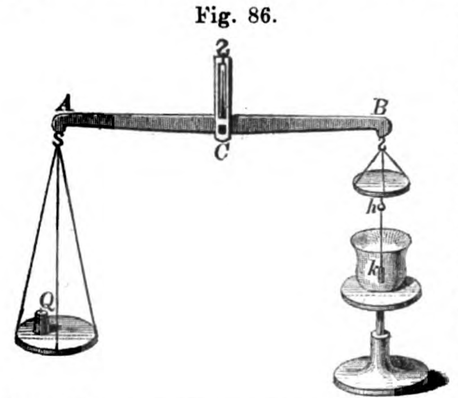
Die beiden Kräfte: der Auftrieb und das Gewicht des Körpers werden eine Drehung hervorbringen, welche die Linie *CD* entweder wieder vertical zu stellen oder noch mehr zu drehen sucht. Schneidet die durch den Schwerpunkt der Flüssigkeit aufwärts gehende Verticale die Linie *CD* über dem Schwerpunkte *g*, so drehen diese Kräfte den Körper gegen die ursprüngliche verticale Lage zurück, schneidet sie dieselbe unter *g*, so drehen sie im

Sinne der geneigten Stellung fort und bringen ein Umschnappen des Körpers hervor. Im ersten Falle ist das Gleichgewicht **stabil**, im zweiten **labil**. Den Durchschnittspunkt E der Auftriebsrichtung mit CD heisst man das **Metacentrum**. Der Körper schwimmt sonach **stabil**, wenn das Metacentrum über den Schwerpunkt fällt, und **labil**, wenn es unter demselben liegt; also stabil, wenn der Schwerpunkt des Körpers unter dem der verdrängten liegt; ist hingegen der Schwerpunkt der Flüssigkeit tiefer, so kann, wie man aus den Metacentren ersieht, das Gleichgewicht bald stabil, bald labil sein.

Schiffe müssen, um stabil zu schwimmen, die dichtesten Lasten in den untersten Raum aufnehmen.

§. 11. **Bestimmung der Dichte und des specifischen Gewichtes fester und tropfbar flüssiger Körper mittelst der hydrostatischen Wage.** Diese Bestimmung beruht auf dem Archimed'schen Principe. Um den **Gewichtsverlust** eines festen Körpers in einer Flüssigkeit zu finden, hängt man ihn mittelst eines Platindrahtes oder Pferdehaares an das Häkchen der an kürzern Fäden hängenden Wagschale einer hydrostatischtn Wage (Fig. 86) auf, während man in die andere so viel Gewichte legt, dass der Wagbalken horizontal steht. Versenkt man den Körper, wie Figur zeigt, in die Flüssigkeit, so wird der Wagbalken erst dann wieder die horizontale Lage annehmen, wenn man in die kürzere Wagschale so viel Gewichte gelegt, als der Gewichtsverlust beträgt, wodurch dieser bekannt wird.

Fig. 86.



Um den Gewichtsverlust des eingetauchten Drahtes nicht besonders in Abrechnung bringen zu müssen, lässt man von der kürzern Wagschale ein Schälchen so tief herabhängen, dass es sich ganz in die Flüssigkeit eintaucht; der Körper wird nun einmal in die Wagschale, dann in das untere Schälchen gebracht, und der Gewichtsverlust, wie früher, bestimmt. Des Schälchens bedient man sich vorzugsweise, wenn der Körper in Pulverform

erscheint. In dem Falle, wo ein Körper minder dicht als die Flüssigkeit ist, nimmt man eine federnde Klemme oder Metallzange, die ihn festhält.

a) Das specifische Gewicht und die Dichte eines festen Körpers wird gefunden, wenn man zuerst sein absolutes Gewicht Q, dann seinen Gewichtsverlust q in irgend einer Flüssigkeit, die ihn nicht zu lösen vermag, genau bestimmt. — Heisst V das Volumen, S das specifische Gewicht, D die Dichte des Körpers, s das specifische Gewicht, d die Dichte der Flüssigkeit, in die man den Körper ganz untertaucht, so ist, wenn man das specifische Gewicht des Wasser mit σ bezeichnet,

$$Q = VS = VD\sigma, \quad \text{und}$$
$$q = Vs = Vd\sigma, \quad \text{mithin}$$
$$\frac{Q}{q} = \frac{D}{d} \quad \text{oder}$$
$$D = \frac{Q}{q}\, d \ldots (1).$$

Bestimmt man den Gewichtsverlust, wie gewöhnlich, im destillirten Wasser bei 4° C., so ist $d = 1$ und $s = \sigma$, folglich

$$D = \frac{Q}{q}, \quad \text{und } S = D \cdot \sigma \ldots (2),$$

d. h. die Dichte eines festen Körpers wird gefunden, wenn man sein absolutes Gewicht durch seinen Gewichtsverlust im Wasser bei 4° C. dividirt; und das specifische Gewicht, wenn man die gefundene Dichte mit dem specifischen Gewichte des Wassers bei 4° C. multiplicirt. — Wäre der Körper im Wasser löslich, so müsste man seinen Gewichtsverlust in einer Flüssigkeit von bekannter Dichte d bestimmen und nach Gleichung *(1)* seine Dichte berechnen.

b) Um die Dichte und das specifische Gewicht einer Flüssigkeit zu finden, hängt man bei h (Fig. 86) mittelst eines feinen Platindrahtes einen kleinen beliebig gestalteten Glaskörper auf, und bestimmt seinen Gewichtsverlust q zuerst im Wasser von 4° *C.*, dann in der Flüssigkeit Q. Heisst das specifische Gewicht des Wassers σ, das der Flüssigkeit S und die Dichte derselben D, und ist V das Volumen des Glaskörpers, so hat man

$$q = V\sigma \quad \text{und } Q = VS,$$

mithin
$$q : Q = \sigma : S = 1 : D,$$

daraus
$$D = \frac{Q}{q} \quad \text{und } S = D\sigma \ldots (2),$$

d. h. die Dichte einer Flüssigkeit bei 4° C. wird gefunden, wenn man den Gewichtsverlust eines reinen Glaskörpers in dieser Flüssigkeit durch jenen im Wasser dividirt; und das specifische Gewicht, wenn man die gefundene Dichte mit dem specifischen Gewichte des Wassers bei 4° C. multiplicirt.

Wird die Bestimmung der Grössen Q und q bei einer Temperatur von t^0 R. vorgenommen, und sind d und δ die dieser Temperatur entsprechenden Dichten der Flüssigkeit und des Wassers, so hat man

$$q : Q = \delta : d, \text{ mithin } d = \frac{Q}{q} \cdot \delta \ldots (3).$$

Professor Stampfer hat die Dichte des Wassers mit grosser Genauigkeit von — 3° bis + 32° R. bestimmt und in Tabellen veröffentlicht. — Stampfer bestimmte mittelst eines eingetauchten vollkommenen Metallcylinders das Gewicht eines Wiener Kubikzolles reinen destillirten Wassers von der Temperatur von 3° R. = 1·044023 Loth = 250·56552 Gran. Indem er diese Bestimmungen für verschiedene Temperaturen vornahm, erfuhr er, dass das Gewicht bei 3° R. am grössten, mithin das Wasser am dichtesten sei; daher diese Dichte des Wassers als Einheit der Dichten angenommen wurde.

Die Dichte der Körper, fester wie tropfbar flüssiger, kann auch mittelst des sogenannten Piknometers, das specifische Gewicht stark poröser Körper mittelst des Leslie'schen Stereometers, das wir in der Aërostatik kennen lernen werden, bestimmt werden.

Fig 87.

§. 12. Bestimmung der Dichte flüssiger Körper mittelst der Aräometer. Die Bestimmung der Dichte mittelst der Aräometer beruht auf zwei unter den Folgerungen aus dem Archimed'schen Principe bewiesenen Gesetzen: 1. Damit ein gewisser Körper in verschiedenen Flüssigkeiten gleich tief einsinke, muss sein Gewicht in dem Maasse vermehrt werden, in welchem die Dichte der Flüssigkeit zunimmt. Darauf beruhen die sogenannten Gewichts-Aräometer. 2. Die in verschiedene Flüssigkeiten eingetauchten Volumtheile eines und desselben Körpers verhalten sich umgekehrt, wie die Dichten dieser Flüssigkeiten. Darauf beruhen die Scalenaräometer.



A) Gewichts-Aräometer (auch Senkwage genannt) sind hohle, länglich runde Körper, gewöhnlich aus Messing, welches sich aber leicht verbiegt und oxydirt, daher am zweckmässigsten aus Glas, am unteren Ende beschwert (z. B. mit Quecksilber oder Schrott), um stabil zu schwimmen; oben trägt das Instrument auf einem dünnen Stäbchen, Hals genannt, ein Schälchen zur Aufnahme von Gewichten. Das Stäbchen hat eine fixe Marke, bis zu der das Instrument in jeder Flüssigkeit einsinken muss. Fig. 87 stellt ein Gewichts-Aräometer von Nicholson, Fig. 88 eines von Mohs vor.

Fig. 88.

a) Dichte einer Flüssigkeit. Heisst das als unveränderlich geltende Gewicht des Aräometers P, und muss man noch das Gewicht p darauf legen, bis es im reinen Wasser bis zur Marke m eintaucht, V das eingetauchte Volumen bis zur Marke, σ das specifische Gewicht des Wassers, so ist

$$P + p = V\sigma.$$

Senkt man das sorgfältig abgetrocknete Instrument in eine andere Flüssigkeit, deren specifisches Gewicht s man bestimmen will und sucht abermals das Zuleggewicht q, bei dem es bis zur Marke eintaucht, so ist $P + q = Vs$, mithin

$$(P + p) : (P + q) = \sigma : s, \text{ also } s = \frac{P + q}{P + p} \cdot \sigma,$$

und $$(P + p) : (P + q) = \delta : d, \text{ daraus } d = \frac{P + q}{P + p} \cdot \delta,$$

wo δ die Dichte des Wassers, d die gesuchte Dichte der Flüssigkeit ist.

b) Dichte fester Körper. Man gibt zuerst den Körper, dessen Dichte man bestimmen will, auf das obere Schälchen und legt so viel Tara dazu, dass es bis zur Marke einsinkt; nimmt hierauf den Körper weg und bringt dafür so viel Zuleggewichte Q, bis das Instrument bis zur Marke einsinkt; so ist Q das absolute Gewicht des Körpers. — Legt man dann den Körper in das im Wasser befindliche Körbchen und legt oben wieder so viel Gewichte q hinzu, bis das Wasser die Marke berührt, so ist q der Gewichtsverlust im Wasser, also seine Dichte D bezüglich des destillirten Wassers von 4° C.

$$D = \frac{Q}{q} \text{ . d. h.?}$$

Um die Dichte mit den Gewichts-Aräometern genau zu bestimmen, ist dieses Verfahren wegen der vielen Rücksichten etwas zu umständlich, daher wird es nur in Ermangelung einer genauen Wage angewendet. — Was die Empfindlichkeit anbelangt, ist sie desto grösser, je dünner der Hals ist, indem ein gleich langes Stück eines dünnern Drahtes ein geringeres Gewicht der Flüssigkeit zu verdrängen hat, als das eines dickern. — Beim Gebrauche darf es nicht über der Marke benetzt werden.

B) Scalenaräometer sind cylindrische, an beiden Enden geschlossene gläserne Röhren, unten meist mit einer kugelförmigen Erweiterung versehen und zum Behufe des stabilen Schwimmens gehörig belastet. An der Röhre ist eine Scala angebracht, deren Eintheilung auf dem Gesetze des Einsinkens eines und desselben Körpers in verschieden dichten Flüssigkeiten beruht. Je nachdem das Instrument für dichtere oder weniger dichte Flüssigkeiten als das Wasser angewendet werden soll, ist an demselben der Wasserpunkt entweder der oberste oder unterste Punkt der Scala. An jedem Aräometer soll die Temperatur angegeben sein, für welche die Scala eingerichtet ist, und welche auch die Flüssigkeit früher bekommen muss, bevor man die Messung vornimmt. — Nach der verschieden ausgeführten Scala erhalten die Aräometer verschiedene Namen, als: Volumeter, Dichtigkeitsmesser, Procent-Aräometer, Aräometer mit willkürlicher Scala.

Fig. 89.

b

m

c

a

B

Das Volumeter von Gay-Lussac (Fig. 89) beruht auf dem obigen Satze: dass sich die eingetauchten Volumtheile umgekehrt verhalten wie die Dichten der Flüssigkeiten. Nach §. 9. Gl. *(1)* hat man nämlich

$$v : v_1 = d_1 : d.$$

Um die Scala eines Volumeters anzufertigen, befestigt man in der Röhre einen sehr dicht eingetheilten Papierstreifen, dessen Gewicht demjenigen Papierstreifen, auf dem die Scala verzeichnet wird, vollkommen gleich ist. Dann bringt man das Instrument in das reine Wasser und lässt so viel Bleischrott in den untersten Raum fallen, dass die Einsenkung bis a (Fig. 89) geschieht; a ist der Wasserpunkt und bildet hier den untersten Theilstrich der Scala. Das ganze eingetauchte Volumen $V = Ba$ setzt man gleich

100; dann stelle man das Instrument in eine Flüssigkeit von bekannter Dichte, z. B. in eine Mischung von Weingeist und Wasser von der Dichte $d = 0.8$, und merke am Papierstreifen den Punkt c, bis zu dem das Instrument in dieser Mischung einsinkt. Hier gibt die letzte Gleichung das ganze Volumen v bis zum Punkte c hinauf (für $d_1 = 1$)

$$v = \frac{v_1}{d} \text{ oder } Bc = \frac{100}{0.8} = 125:$$

das cylindrische Röhrenstück ac beträgt somit 25 Volumtheile. Daher theilt man ac in 25 gleiche Theile, setzt die Theilung fort bis oben, schreibt beim Wasserpunkte die Zahl 100 und zählt von da aufwärts; so gibt die Scala das jedesmalige v unmittelbar an. Dann ergibt sich aus der letzten Gl. die Dichte

$$d = \frac{v_1}{v} = \frac{100}{v},$$

d. h. die Dichte ist gleich der Zahl 100 dividirt durch die Zahl der Scala, bis zu der das Volumeter einsinkt.

2. Dichtigkeitsmesser sind solche Aräometer, deren Scala unmittelbar die Dichte der Flüssigkeit, in welche sie eingetaucht sind, angibt. Der Wasserpunkt, bis zu welchem das Instrument im destillirten Wasser bei 4° C. einsinkt, wird mit 1 (Dichte des Wasses) bezeichnet. Vom Wasserpunkte 1 aus gibt die Scala die Punkte für gleiche Dichtenunterschiede an, z. B.

$$1,\ 1{\cdot}01,\ 1{\cdot}02 \ldots \text{ und } 1,\ 0{\cdot}99,\ 0{\cdot}98, \ldots$$

Durch das Einsenken in Flüssigkeiten, deren Dichten bekannt sind, lässt sich die Scala empirisch anfertigen; einfacher geschieht aber die Verfertigung der Dichtigkeitsscala nach der Methode von Brisson und Schmid.

Aufgabe. Um sich zu überzeugen, dass die Theilstriche eines Dichtigkeitsmessers ungleiche Abstände haben, die nach oben zunehmen, mache man am Gay-Lussac'schen Volumeter (Fig. 89) zuerst die Volumscala von 100 bis 125, suche nach der Gleichung die den Punkten entsprechenden Dichten und trage sie auch an der Röhre auf. Dann suche man aber noch jene Scalenpunkte auf, die den gleichen Dichtenunterschieden entsprechen und vergleiche ihre Abstände.

3. Procenten-Aräometer geben unmittelbar an, wie viel in hundert Gewichts- oder Volumtheilen einer Mischung aus Was-

ser und einem andern Stoffe, z. B. Alkohol, Zucker, Kochsalz etc., von diesem ihren Werth bestimmenden Stoffe enthalten ist. Scalen-Aräometer, die diesen Procentengehalt anzeigen, heissen Gewichts- oder Volumprocent-Aräometer.

Man bezeichnet bei allen Procenten-Aräometern den Wasserpunkt mit Null, und ermittelt durch Einsenkung in Mischungen von bestimmtem Procentgehalt die andern Scalentheile für einen bestimmten Stoff, dessen Namen das Aräometer führt, z. B. Alkoholometer, wie solche nach Tralles und Gay-Lussac in Preussen und Frankreich im Gebrauche sind, und angeben, wie viel Maass Alkohol in hundert Maass einer Mischung von Alkohol und Wasser enthalten sind. — Aber man darf nie übersehen, dass der eigentliche Werth, wie z. B. von Wein, Bier und Milch nicht blos von der Dichte abhängt, und diese sogar künstlich nachgeahmt werden kann.

4. Aräometer mit willkürlicher Scala geben nur überhaupt an, dass sich die Dichten der untersuchten Flüssigkeiten um gewisse Grade dieser Instrumente unterscheiden, ohne anzuzeigen, wie vielmal die eine dichter sei als die andere. In Gewerben kommen sie leider häufiger vor als die wissenschaftlich construirten Aräometer. Am häufigsten sind die von Beaumé, dann von Cartier und endlich von Beck. Nach Beaumé wird der Wasserpunkt mit Null, jener Punkt, bis zu dem es sich in einer Lösung von 3 Gewichtstheilen reinem Kochsalz und 17 Gewichtstheilen Wasser eintaucht, mit 15 bezeichnet und der Zwischenraum in 15 gleiche Theile getheilt. Man hat durch Versuche die Dichten bestimmt, welche den Beaumé'schen Graden entsprechen und zum Nachschlagen in Tabellen eingetragen. — Bei dem Aräometer für leichtere Flüssigkeiten als Wasser wird nach Beaumé Null an den Punkt gesetzt, bis zu welchem es in einer Mischung von 1 Theil Kochsalz und 9 Theilen Wasser einsinkt, und 10 an den Punkt gesetzt, bis zu welchem es im reinen Wasser einsinkt.

Gleichgewicht unter dem vereinten Einflusse der Schwerkraft und der Molecularkräfte.

§. 13. **Molecularkräfte einer tropfbaren Flüssigkeit.** Viele Körper setzen sowohl der Trennung ihrer Theilchen als auch der Annäherung derselben über eine gewisse Grenze einen Widerstand entgegen. Den Widerstand, den die materiellen Theilchen der Trennung entgegensetzen, nennt man im Allgemei-

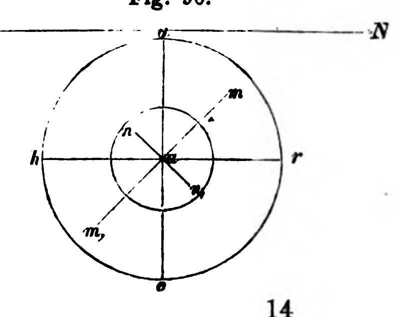
nen **Anziehungskraft**; jenen hingegen, den sie einer Annäherung entgegensetzen, **Abstossungskraft**. Die Versuche über das Zusammendrücken der Flüssigkeiten lehren, dass die abstossenden Kräfte beim Annähern der Theilchen in einem stärkeren Verhältnisse wachsen, beim Auseinanderrücken derselben aber in einem stärkeren Verhältnisse abnehmen, als die anziehenden Kräfte; daraus schliessen wir, dass sich bei festen und tropfbar flüssigen Körpern die Wirksamkeit der Abstossungskraft eines Molecüls auf geringere Entfernung erstreckt, als die der Anziehungskraft.

Die äusserst leichte Verschiebbarkeit der Theilchen spricht dafür, dass ein jedes Molecül eines tropfbar-flüssigen Körpers nach allen Seiten hin auf gleichweit abstehende Molecüle in unmessbar kleiner Distanz mit gleicher Stärke wirke; denn nur so kann die Wirkung, die ein Molecül nach einer gewissen Seite hin erfährt, durch die gleich grosse Wirkung von der entgegengesetzten Seite aufgehoben werden und das Molecül freibeweglich dastehen. Daraus folgt aber, dass die Wirkungssphäre eines **Centralmolecüls** eine Kugel ist; und zwar ist der Radius der Sphäre der Abstossung kleiner als jener der Anziehung. Die Wirkungssphäre der Molecüle einer und derselben Flüssigkeit ist bei allen Molecülen gleich gross.

Auf dieser Hypothese über die Molecularkräfte beruhen die nachfolgenden Erörterungen.

§. 14. **Action einer Flüssigkeit auf sich selbst zufolge der Molecularkräfte.** a) Liegt ein Molecül *a* (Fig. 90) so tief in der Flüssigkeit, dass seine beiden Wirkungssphären unter dem Niveau bleiben, so heben sich die Wirkungen sämmtlicher Molecüle in seiner Wirkungssphäre auf dasselbe gegenseitig auf. Denn denken wir uns die Kugel der Wirkung durch *hr* in zwei Halbkugeln getheilt, so fällt die Resultirende aller in der Halbkugel *hcr* liegenden Molecüle auf das Centralmolecül *a* in die Symmetrielinie *ac*, die Resultirende der Molecüle der

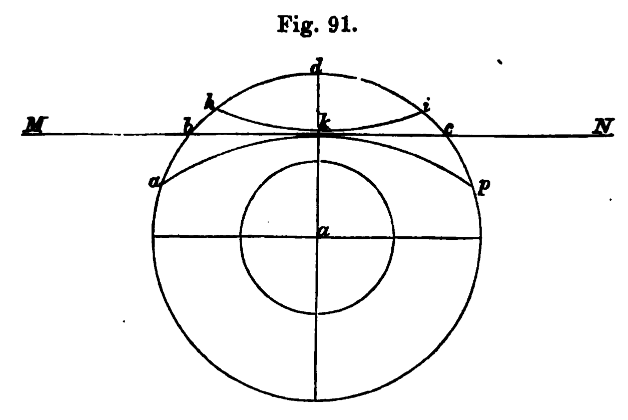
Fig. 90.



Halbkugel *hdr* in die Symmetrielinie *ad*. Da die Dichte überall gleich ist und somit in beiden Halbkugeln gleich viel Molecüle vorkommen, so sind auch ihre entgegengesetzt gerichteten Resultirenden einander gleich und heben sich auf, was man auch aus der symmetrischen Vertheilung, z. B. m, m' und n, n' ersieht. Ausserhalb *hdrc* liegende Molecüle wirken aber nicht mehr auf a, da sie über die Distanz ar hinaus nicht wirken können. Jedes Molecül, dessen Abstand vom Niveau grösser ist als der Halbmesser der Anziehungssphäre, verhält sich also so, als wäre es von den benachbarten Molecülen gar nicht afficirt.

b) Reicht (Fig. 91) die Anziehungssphäre eines Molecüls über die Oberfläche MN hinaus, und ist die Oberfläche eben, so

Fig. 91.



fallen die in dem Kugelsegmente *bdc* auf a mit der Kraft P anziehend wirkenden Molecüle weg, während die Anziehung der unteren Halbkugel dieselbe $= R$ bleibt. Also erleidet a nach oben den Zug $R - P$, nach unten R, mithin wird das Centralmolecül a mit der Kraft $R - (R - P) = P$ abwärts gezogen. — Ist die Oberfläche concav *hki*, so fallen weniger Molecüle weg und das Centralmolecül wird mit einer kleineren Kraft P_1 einwärts gezogen, hat aber die Oberfläche eine convexe Gestalt, so fallen mehr Molecüle weg als bei der ebenen und das Centralmolecül erleidet einen grösseren Zug P_2 einwärts als P beträgt.

Setzen wir $P - P_1 = p$, so ist $P_1 = P - p$

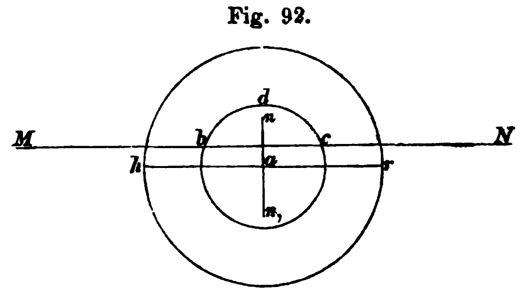
und $P_2 - P = q$, so ist $P_2 = P + q$.

Bei jeder tropfbaren Flüssigkeit gibt es eine sehr dünne Schichte der Oberfläche, deren Theilchen von den unter ihr liegenden Molecülen mit vermehrter Kraft nach innen gezogen werden. Man nennt diese Erscheinung Action der Flüssigkeit auf sich selbst. Aus der vorangehenden Betrachtung ersieht man, dass diese Action durch die concave Gestalt vermindert, durch die convexe hingegen verstärkt wird. — Daraus ist ersichtlich, wie die Action der Flüssigkeit von der Gestalt ihrer Oberfläche abhängt.

Infolge der Action der Flüssigkeit auf sich selbst wächst die Dichte und Cohäsion der unmittelbar an der Oberfläche liegenden Schichte, was den Anschein gibt, als wäre die Flüssigkeit mit einem dünnen Häutchen überzogen.

c) Wird aber der Abstand eines Molecüls a (Fig. 92) von der Oberfläche kleiner als der Halbmesser seiner Abstossungssphäre, so fehlen in der oberen Kugelhälfte der Abstossungssphäre die Theilchen des Kugelsegmentes bdc, die für sich auf a eine abstossende Kraft q äusserten, während von der unteren Kugelhälfte die Theilchen mit ihrer ganzen Kraft r auf a abstossend wirken. Daher wird a von unten nach oben mit der ganzen Kraft r, von oben nach unten aber nur mit $r - q$ getrieben, also ist der Unterschied $r - (r - q) = q$ die Kraft, mit welcher das Molecül a über die Grenze der Oberfläche hinausgetrieben wird. Aus diesen Kräften entsteht die Erscheinung der Verdunstung der Flüssigkeiten an der Oberfläche.

Fig. 92.

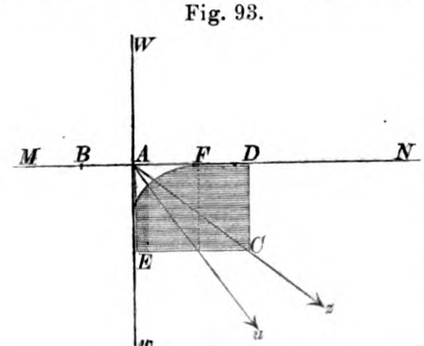


Eine Folge der Action der Flüssigkeit auf sich selbst ist die Tropfenbildung, denn die nach Innen gehenden Actionen einer freien Flüssigkeitsmasse lassen nur dann die Flüssigkeit im Gleichgewichte, wenn sie auf der Oberfläche senkrecht stehen, d. h. wenn diese eine Kugelform hat.

§. 15. **Gestaltung der Oberfläche einer Flüssigkeit unter dem Einflusse der Molecularkräfte der Flüssigkeit und der Gefässwände.** Auch zwischen den Wand- nnd Flüssigkeitstheil-

chen treten Molecularwirkungen auf und verursachen eine Abänderung der Action der Flüssigkeit, so dass diese an den Wänden bald eine convexe, bald eine concave Gestalt annimmt. — Denken wir eine vertical in eine Flüssigkeit gestellte Wand Ww (Fig. 93) und sei A ein Flüssigkeitstheilchen, so wirken die Wandttheilchen auf A und erzeugen eine in die Richtung MN fallende Resultirende P. Zieht man eine Gerade Az, so dass sie den Winkel NAw halbirt, so fällt die Resultirende R sämmtlicher Flüssigkeitstheilchen auf A in die Richtung Az, da die Masse um sie symmetrisch vertheilt ist.

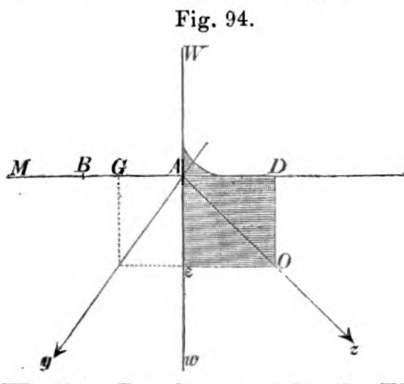
Fig. 93.



Drücken wir die Resultirende der Anziehung der Wandtheilchen durch AB aus, während die Resultirende der Flüssigkeitsmasse durch AC vorgestellt werden soll; zerlegen AC in die Componenten AD und AE, so kann $AD = AB$, $AD > AB$ oder $AD < AB$ sein.

Ist $AB = AD$, so heben sich die von der Wechselwirkung der Wand und der Flüssigkeit herrührenden Kräfte auf. Ist aber $AD > AB$, so geben die Kräfte eine Resultirende $AD - AB = AF$ (Fig. 93) und AF gibt mit der verticalen Componente AE vereiniget eine durch den Winkel NAw gehende Resultirende Au. Soll Gleichgewicht bestehen, so muss die Richtung Au auf der Oberfläche senkrecht stehen, daher muss in diesem Falle die mit der Wand in Berührung stehende Flüssigkeit eine convexe Oberfläche haben.

Fig. 94.



Ist hingegen $AD < AB$, so geben diese Kräfte $AB - AD = AG$ (Fig. 94) zur Resultirenden, die sich mit AE zu einer durch den Winkel MAw gehenden Resultirenden Ay zusammensetzt. Soll

nun Gleichgewicht herrschen, so muss die Richtung Ay auf der Oberfläche senkrecht stehen, daher die Oberfläche an der Wand in diesem Falle concav erscheint.

Die Flüssigkeit mit concaver Oberfläche benetzt die Wand, die mit convexer aber nicht.

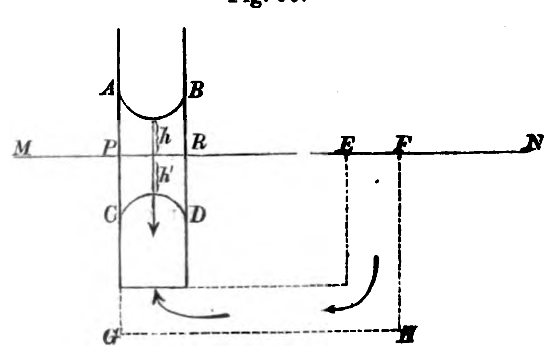
Stellt man zwei verticale Wände Rr und Ww (Fig. 95) so nahe an einander, dass sich ihre Molecularwirkung bis auf das in der Mitte liegende Theilchen a erstreckt, so nimmt die ganze zwischen ihnen befindliche Oberfläche der Flüssigkeit entweder eine concave oder convexe Gestalt an, je nachdem sie die Wände benetzt oder nicht.

Fig. 95.

In Folge der durch den Einfluss der Wände erzeugten Veränderung in der Gestalt der Oberfläche ändert sich auch die Grösse der Action P, welche bei ebener Oberfläche vorhanden war. Bei einer convexen Oberfläche wird diese Action $P + q$, bei einer concaven hingegen $P - p$ sein. Je näher nun die Wände (Fig. 95) an einander liegen, desto mehr erscheint die Oberfläche geändert, weil beide in gleichem Sinne wirken. Denkt man sich ein Röhrchen, so nimmt die convexe oder concave Krümmung zu, wenn das Röhrchen enger wird, daher erscheinen auch die Aenderungen $+ q$ und $- p$ der Action P in engeren Röhrchen grösser als in weiteren.

Die erhabene oder hohle Kuppe (Fig. 95) heisst Meniskus. — In weiten Gefässen verschwindet der Meniskus und der Einfluss der Wände wird nur noch unmittelbar an der Wand selbst merklich.

Fig. 96.



§. 16. Erscheinungen in Haarröhrchen und ihre Erklärung. Haarröhrchen oder Capillargefässe nennt man sehr enge Röhrchen, in denen der Flüssigkeitsstand wegen der vorherr-

schenden Molecularwirkung nicht mehr den Gesetzen der Communicationsgefässe folgt. Denken wir uns (Fig. 96) ein Haarröhrchen AB in eine Flüssigkeit MN gestellt und in der Art der punktirten Linien bis zur Oberfläche EF erweitert, so müsste, wenn in demselben die Oberfläche eben wäre wie PR, die Flüssigkeit inner- und ausserhalb gleich hoch stehen, wie es nach dem Communicationsgesetze sein soll.

Ist aber die Oberfläche im Haarröhrchen nicht eben, sondern concav oder convex, so wird die Action eine andere Grösse haben als bei ebener Oberfläche, und zwar bei der concaven Gesalt der Oberfläche $P - p$, bei der convexen $P + p$. Damit nun der von EF herkommenden Totalaction P das Gleichgewicht gehalten wird, muss im Haarröhrchen zu $P - p$ noch ein Druck einwärts $+ p$ hinzutreten, dann ist $P - p + p = P$, d. h. es muss sich die Flüssigkeit im Haarröhrchen bis zu einer Höhe h erheben, um durch ihren hydrostatischen Druck die Kraft $p = bhs$ zu ersetzen; daher steht die Flüssigkeit im Haarröhrchen um h höher als ausserhalb, wenn sie dasselbe benetzt und eine concave Oberfläche hat.

Ist hingegen die Oberfläche convex, so ist die Action auf sich selbst $P + q$, d. i. um q grösser als die Gegenaction P, daher erscheint die Flüssigkeit in dem Röhrchen niedergedrückt um eine Höhe h', deren hydrostatischer Druck $bh's = q$ durch den Ueberschuss der Action $P + q - P = q$ ersetzt wird. Hat also die Flüssigkeit im Haarröhrchen eine convexe Oberfläche, so steht sie in demselben tiefer als ausserhalb.

a) Die Erfahrung lehrt, dass bei derselben Weite der Röhrchen und bei gleicher materieller Beschaffenheit der darin enthaltenen Flüssigkeit die Elevation und Depression gleich ausfällt, die Wände mögen dick oder dünn sein; woraus es einleuchtend ist, dass diese Wirkung in der That nur von der Wechselwirkung der unmittelbar sich berührenden Theilchen der Wand und der Flüssigkeit herrührt, also eine Molecularerscheinung ist.

Wir wollen sehen, ob diese Theorie auch den zweiten Erfahrungssatz, dass die gehobenen oder herabgedrückten Höhen im umgekehrten Verhältnisse der Durchmesser der Röhrchen stehen, beweisen kann oder nicht. Zu diesem Behufe bezeichnen wir die Durchmesser zweier cylindrischen Haarröhrchen mit d und d_1; so ist nach dem Vorigen der Druck

$$p = bhs = \frac{\pi d^2}{4} \, . \, hs,$$

und für eine andere Weite

$$p_1 = b_1 h_1 s = \frac{\pi d_1^2}{4} h_1 s,$$

mithin

$$p : p_1 = d^2 h \,.\, d_1^2 h_1.$$

Weil aber die Action p und p_1 von Molecularkräften der Wand- und Flüssigkeitstheilchen herrührt, so ist sie dem Umfange der Röhrchen proportional, d. h.

$$p : p_1 = \pi d : \pi d_1,$$

dies mit obiger Proportion verbunden gibt

$$dh = d_1 h_1,$$

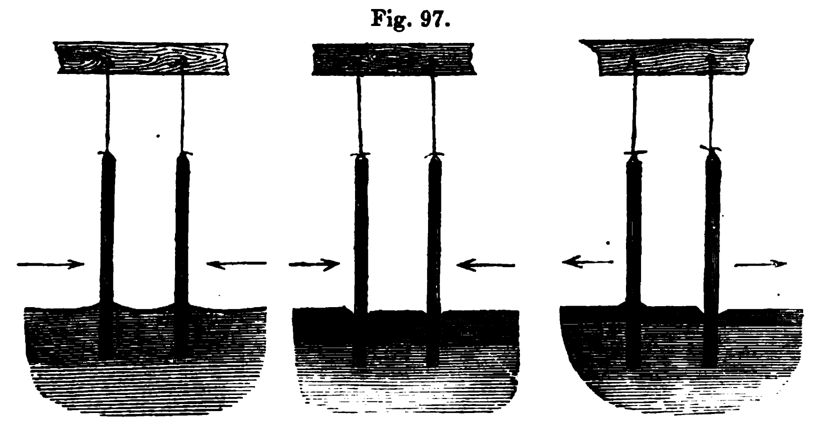
oder

$$h : h_1 = d_1 : d,$$

wie dies auch der Erfahrungssatz ausspricht.

Die Versuche lehren auch, dass die Haarröhrchenwirkung mit der Erhöhung der Temperatur der Flüssigkeit kleiner wird.

Fig. 97.



b) In Folge der Capillarität zeigen leicht bewegliche Körper, die entweder auf einer Flüssigkeit schwimmen oder in dieselbe eingetaucht sind, eigenthümliche Erscheinungen von gegenseitigen Anziehungen und Abstossungen.

Die Fig. 97 stellt drei Plattenpaare vor, die pendelartig in Flüssigkeiten eingetaucht sind. So lange die Platten einigermassen von einander entfernt sind, üben sie gar keine sichtbare Wirkung auf einander aus; nähert man sie aber so weit, dass zwischen ihnen die Maniskusbildung sichtbar wird, so bringen die Molecularkräfte äussere Bewegung hervor.

Zwei Platten üben bei dieser Annäherung eine Anziehung auf einander aus und klappen zusammen, wenn sie entweder beide von der Flüssigkeit benetzt oder beide nicht benetzt werden. So feine Glasplättchen in Wasser oder Glaskugeln auf Quecksilber. — Zwei Platten hingegen, von denen die eine benetzt, die andere aber nicht benetzt wird, stossen in gehöriger Nähe einander ab.

Daraus erklärt sich das Aneinanderkleben nasser blättriger Gegenstände und selbst der Sandkörner.

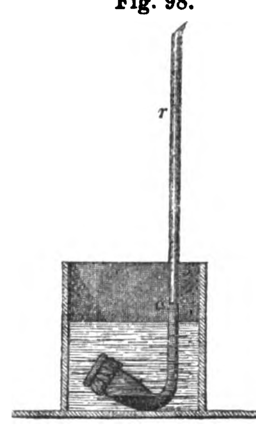
c) Bringt man eine Flüssigkeitssäule in ein enges konisches Röhrchen, dessen Axe horizontal liegt, so bewegt sich dieselbe in Folge der eigenen Action gegen das engere Ende, wenn sie concav, und umgekehrt, wenn sie convex abgegrenzt ist. Aus der verschiedenen Grösse der Krümmungen der beiden Grenzflächen der Flüssigkeit wird der denkende Schüler die Erklärung selbst finden können.

Auf der Wirkung der Capillargefässe beruht das Aufsteigen des Oeles und des Fettes in den Dochten unserer Lampen und Kerzen, das Aufsteigen des Wassers in Sandhaufen, das Aufsaugen von Flüssigkeiten durch poröse Körper, z. B. durch Schwämme oder durch Fliesspapier, das Aufnehmen von Arznei- und Nahrungsstoffen durch die Poren der äussern Haut und der Schleimhäute des Organismus, die sogenannte Endosmose und Exosmose, d. i. das Uebergehen zweier Flüssigkeiten in einander durch thierische Membranen etc.

§. 17. **Endosmose und Exosmose.** Sind zwei ungleichartige aber mischbare Flüssigkeiten durch Membranen von einander getrennt, so gehen sie durch die poröse Scheidewand in einander über und mischen sich meistens mit Volumänderung, so dass die eine zunimmt, die andere abnimmt. Die von Volumänderung begleitete Mischung der Flüssigkeiten durch poröse Scheidewände nennt Dutrochet, der Entdecker dieses Vorganges, Endosmose und Exosmose.

Aus Liebig's Untersuchungen über die Ursachen der Säftebewegung im thierischen Organismus folgt die Annahme, dass die thierische Membrane zu verschiedenen Flüssigkeiten eine verschiedene Anziehung hat; also zu jener eine grössere, die sie in grösserer Menge durchlässt.

Fig. 98.



Die durch ungleiche Anziehung verschiedenartiger Flüssigkeiten gegen die Scheidewand hervorgebrachte Wirkung entspricht einem mechanichen Drucke, der von der einen Seite die Flüssigkeit stärker durch die Poren treibt als von der andern. Bringt man in eine enge Röhre *a* (Fig. 98), deren weite Mündung mit einer Blase überbunden ist, Salzwasser, und giesst in die enge Röhre so viel Quecksilber, dass das Salzwasser eben durch die Poren der Blase in Tropfen auszutreten beginnt, und taucht die Röhre in ein mit Jodklei-

ster blau gefärbtes Wasser, so erscheint das Salzwasser nach und nach auch gefärbt, während die Flüssigkeiten ohne Volumänderung sich mischen, weil die stärkere Anziehung des Wassers gegen die Blase durch den Quecksilberdruck aufgehoben wird, weshalb in jeder Zeit so viel Salzwasser durch die Blase austritt, als Wasser hineindringt. Nimmt man das Quecksilber weg, so erfolgt eine Mischung mit Volumänderung und die Flüssigkeit steigt in der Röhre.

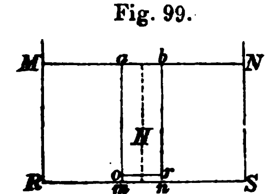
Die Natur der Scheidewand entscheidet, ob die eine oder die andere Flüssigkeit dabei an Volumen zunimmt. Die Erfahrung lehrt, dass Lösungen von Thierleim, Gummi, Zucker, Eiweiss, wenn sie durch eine Blase vom Wasser getrennt sind, an Volumen zunehmen. Die Geschwindigkeit der Mischung ungleichartiger durch Membranen getrennter Flüssigkeiten nimmt mit der Dicke der Membrane ab, und wird desto grösser, je schneller die in den Poren und an den beiden Flächen der Blase entstehende Mischung ihren Platz ändert, und die ursprüngliche Ungleichheit in der Beschaffenheit der Flüssigkeiten sich erneuert. — Daraus lässt sich entnehmen, welch' wichtige Rolle die Beschaffenheit der Membranen und die Bewegung der Säfte bezüglich der Aufsaugung derselben im Organismus spielen. Die Endosmose befördert wesentlich den Wechsel des Stoffes im vegetabilischen Organismus.

Grundlehren der Hydrodynamik.

Flüssigkeiten befolgen die Bewegungsgesetze der Körper überhaupt, nur kann wegen der leichten Verschiebbarkeit der Theilchen zugleich eine Bewegung im Innern der Masse entstehen und auf den Erfolg einen Einfluss ausüben.

§. 18. **Torricelli's Theorem oder die Ausflussgeschwindigkeit einer Flüssigkeit aus dem horizontalen Boden des Gefässes.** Denken wir uns, es werde im Gefässe $MRNS$ (Fig. 99) die Flüssigkeit während des Ausströmens durch eine Boden-Oeffnung $b = mn$ stets in derselben Höhe erhalten. Auf die austretende Flüssigkeit m wirkt nicht nur die eigene Schwere, sondern auch der Druck Q der darüber stehenden Flüssigkeitssäule $Q = bHs$. Dieser constante Druck ist zugleich die constante Kraft P, welche der austretenden Masse eine Acceleration G ertheilt; also $P = mG$. Aber es ist $P = Q = Mg$ dem Gewichte der Wasser-

Fig. 99.



säule H, also ist $G = \frac{M}{m} \cdot g$. Da aber sich verhält $M : m = H : h$, so ist auch $G = \frac{H}{h} \cdot g$. Nun ist aber die End- oder Ausflussgeschwindigkeit v bei der Acceleration G und der Fallhöhe h

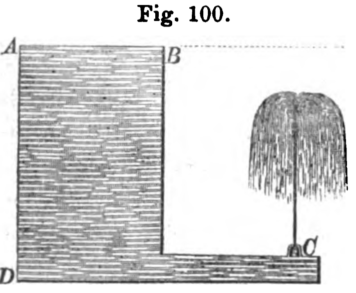
$$v = \sqrt{2Gh} = \sqrt{2gH} \cdots (1),$$

d. h. die Ausflussgeschwindigkeit der aus dem horizontalen Boden austretenden Flüssigkeit ist dieselbe, als wäre die Flüssigkeit vom Niveau bis zur Ausflussöffnung frei herabgefallen; und ist von der Natur der Flüssigkeit und von der Grösse der Oeffnung unabhängig. Der Abstand H der Ausflussöffnung vom Niveau wird Druckhöhe genannt. Die Ausflussgeschwindigkeit bleibt nur so lange unveränderlich, so lange die Druckhöhe denselben Werth behält. Nimmt die Druckhöhe ab, und zwar gleichförmig, so wird die Geschwindigkeit eine gleichförmig verzögerte.

Ist die Ausflussöffnung an der Seitenwand des Gefässes, so fliessen die Theilchen nicht mit gleicher Geschwindigkeit aus, da ihre Druckhöhen verschieden sind; allein man kann bei kleineren Oeffnungen immer annehmen, dass die Theilchen mit der mittlern, d. h. mit jener Geschwindigkeit austreten, welche dem Abstande des Mittelpunktes der Oeffnung vom Niveau entspricht. Die aus einer Seitenwand austretenden Flüssigkeitstheilchen fallen in Parabeln zu Boden.

Um sich von der Richtigkeit des Ausflussgesetzes zu überzeugen, lässt man die Flüssigkeit aus einer nach oben gekehrten kleinen Oeffnung C (Fig. 100) austreten und misst die Höhe des Strahles. Der vertical aufsteigende Wasserstrahl müsste sich nach den Gesetzen des verticalen Wurfes, wenn keine Hindernisse vorhanden wären, mit seiner der Fallhöhe $H = \frac{v^2}{2g}$ entsprechenden Geschwindigkeit v bis zur Höhe H erheben. Die Erfahrung zeigt, dass der Strahl bei möglichster Beseitigung der Hindernisse zwar nahe an das Niveau kommt, es aber doch niemals erreicht; ein besonderer Grund liegt darin, dass ausser dem Widerstande der Luft die obern Theilchen,

Fig. 100.



die sich langsamer bewegenden auf die untern mit grösserer Geschwindigkeit ausströmenden Theilchen einen Druck üben.

Würde auf das Niveau ein fremder Druck, entsprechend einer Druckhöhe h, ausgeübt, so muss die Druckhöhe H bei der Berechnung der v um h vermehrt werden.

§. 19. **Ausflussmenge der Flüssigkeit.** a) Aus einer Bodenöffnung. Bleibt die Ausflussgeschwindigkeit constant, und treten sämmtliche Theilchen mit der nämlichen Geschwindigkeit aus der Oeffnung, so fliesst in einer Secunde eine Flüssigkeitssäule heraus, welche die Oeffnung b zur Basis und die Geschwindigkeit v zur Höhe hat; daher das Volumen $= b \,.\, \sqrt{2gH}$. Das Volumen der in der Zeit t ausgeflossenen Masse ist sonach

$$M = bt \sqrt{2gH} \ldots (2)$$

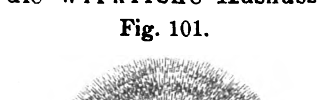
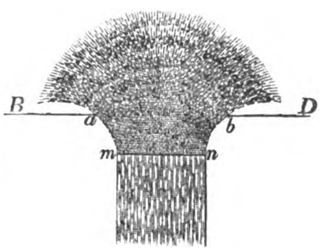
und das Gewicht $$P = bst \sqrt{2gH}.$$

Die Ausflussmenge nach dem Ausdrucke (2) berechnet heisst man die theoretische, die wegen der unberücksichtigt gebliebenen innern Bewegung der austretenden Masse von der durch Erfahrung gegebenen abweicht und durch diese corrigirt werden muss.

Wird dem Wasser Bernstein- oder Siegellackpulver beigemengt, so verfolgt man leicht die Wege der einzelnen Theilchen und sieht, dass sie in schiefer Richtung zur Oeffnung kommen, mag sich diese am Boden oder an einer Seitenwand befinden, sobald nicht der Boden oder die Wand ganz offen sind. Dadurch wird eine Zusammenziehung, Contraction oder Einschnürung des Strahles hervorgerufen, wobei der Querschnitt desselben von der Oeffnung an bis zu einer gewissen Entfernung an Grösse allmälig abnimmt, wie Fig. 101 zeigt.

Um daher aus der theoretischen die wirkliche Ausflussmenge M_1 zu erhalten, muss man jene mit dem sogenannten Contractions- oder Reductions - Coëfficienten $\mu < 1$ multipliciren, wornach man $M_1 = \mu \,.\, bt \sqrt{2gH}$ erhält.

Fig. 101.

Der Contractions-Coëfficient ist von der Druckhöhe beinahe ganz unabhängig, nimmt aber mit der Verkleinerung der Oeffnung etwas zu, und ist für Wasser, das aus einer in einer dünnen Wand angebrachten kreisrunden oder rechteckigen

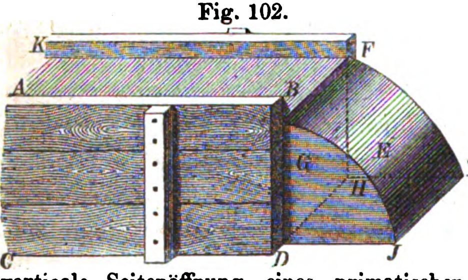
Oeffnung herausfliesst, = 0·62 bis 0·64. Man hat für sehr viele im technischen Leben vorkommende Fälle μ aus der Erfahrung bestimmt und seinen jedesmaligen Werth in eigene Tabellen eingetragen.

Ein vertical herabfallender Wasserstrahl besteht aus verschiedenen Theilen; der obere kleinere Theil erscheint durchsichtig, der darauf folgende trübe, indem er sich in Tropfen auflöst. Zwischen diese Tropfen dringt Luft ein; daher saugt ein fallender Wasserstrahl Luft ein und zieht sie mit sich. (Wassergebläse.)

Aufgabe. Wie gross ist die theoretische und die wirkliche Ausflussmenge einer Flüssigkeit aus einer Bodenöffnung von 5 Quadrat-Centimeter bei einer constanten Druckhöhe von 2 Meter in 5 Minuten?

b) Die Ausflussmenge aus einer kleinen Seitenöffnung wird gerade so berechnet, wie für eine Bodenöffnung. Ist aber der Durchmesser der Seitenöffnung gross, oder wenn die ganze Wand offen ist, lässt es sich nicht mehr annehmen, dass alle Theilchen mit der mittleren Geschwindigkeit austreten, daher wird eine besondere Berechnung nothwendig. — Es sei $BDHF$ (Fig. 102) die verticale Seitenöffnung eines primatischen Gefässes, in welchem durch Nachfliessen das Wasser stets bei gleicher Höhe erhalten wird. Die Geschwindigkeiten v und v' der bei G und D austretenden Theilchen verhalten sich zufolge Gl. *(1)*

Fig. 102.



$$v : v' = \sqrt{BG} : \sqrt{BD}.$$

Errichten wir in G und D die auf BD Senkrechten GE und DJ in dem Verhältnisse

$$v : v' = GE : DJ,$$

so stellen uns diese Senkrechten die in einer Secunde heraustretenden Wasserfäden vor. Wird $BG = x$, $BD = x^1$; $GE = y$, $DJ = y^1$ gesetzt, so folgt aus den Proportionen

$$x : x_1 = y^2 : y^2_1$$

oder

$$y^2 = \frac{y_1{}^2}{x_1} . x = k . x,$$

d. h. die Fläche $BDJE$ ist eine Parabelfläche. Nun ist aber aus der Geometrie diese Parabelfläche F

$$F = \frac{2}{3} BD . DJ = \frac{2}{3} H \sqrt{2gH},$$

daher hat der gesammte in einer Secunde austretende Wasserkörper, dessen Basis jene Fläche und dessen Höhe $= HD = B$ ist, das Volumen oder eine Wassermasse

$$M = \frac{2}{3} BH \sqrt{2gH} \ldots (4).$$

Wäre in der Seitenwand nur eine rechteckige Spalte von der Breite b, so hätte die in einer Secunde austretende Wassermasse das Volumen

$$m = \frac{2}{3} bH \sqrt{2gH},$$

und bei einer geringern Höhe $H - h$

$$m_1 = \frac{2}{3} b (H - h) \sqrt{2g (H - h)};$$

den Unterschied $m - m_1$ gibt jene Wassermasse an, die durch eine an der Seitenwand unten angebrachte Oeffnung von der Höhe h und der Breite b austreten würde; die Wassermasse ist

$$m - m_1 = \frac{2}{3} b \sqrt{2g} \left[H \sqrt{H} - (H - h) \sqrt{H - h} \right] \ldots (5).$$

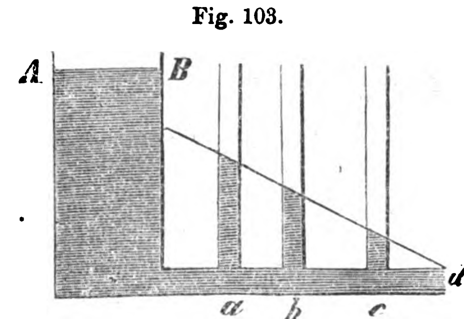
Um die wirklichen Ausflussmengen zu erhalten, muss man die theoretischen mit den Zahlen 0·697, 0·664, 0·642 und 0·62 multipliciren, je nachdem die Contraction an einer, zwei, drei oder vier Stellen stattfindet. Darnach bekommt nach D'Aubisson die Formel *(4)* anstatt $^2/_3$ den Coëfficienten 0·443.

§. 20. **Bewegung des Wassers in Röhren.** Das aus einem Reservoir durch horizontale oder schiefe Röhren geleitete Wasser sollte mit einer Geschwindigkeit $V = \sqrt{2gH}$ ausfliessen, wo die Druckhöhe H den Höhenunterschied des Wasserstandes im Behälter und des Mittelpunktes der Ausflussöffnung bedeutet. Allein es muss ein Theil der Druckkraft verwendet werden, um die durch Adhäsion an der Röhrenwand anhaftenden Theilchen mit fortzureissen, und ein anderer Theil der Druckkraft wird verbraucht zur Ueberwindung der Reibungshindernisse. Beide Hindernisse vermindern die Ausflussgeschwindigkeit, so dass sie nunmehr einer kleineren Druckhöhe $h = \frac{v^2}{2g}$ entspricht. Der Unterschied zwischen der wirklichen und der durch Hindernisse sich ergebenden Druckhöhe $H - h$ heisst die Widerstandshöhe, indem diese Druckhöhe durch die Widerstände für den Ausfluss verloren geht.

Setzt man an die Ausflussöffnung eines Gefässes (Fig. 103) eine lange gleichweite horizontale Röhre an, so erscheint die Ausflussgeschwindigkeit am Ende der Röhre um so kleiner, je länger

die Röhre, aber um so grösser, je breiter sie ist und je grösser die Druckhöhe im Gefässe. Werden bei *a*, *b*, *c* verticale Röhren eingesetzt, so steigt das Wasser in denselben desto höher, je weiter sie von der Röhrenmündung entfernt sind. — Die Wassersäulen in diesen Röhren halten dem Drucke das Gleichgewicht, welchen die Widerstände der Bewegung auf die Röhrenwand erzeugen; ihre Höhen sind also die Widerstandshöhen in den betreffenden Stellen. Denkt man sich durch die obersten Punkte dieser Säulen eine Linie von der Mündung zum Ausflussgefässe gezogen, so trifft sie das Gefäss in der Widerstandshöhe der ganzen Leitung; während die über dem getroffenen Punkte im Gefässe stehende Flüssigkeitssäule *h* durch ihren Druck noch eine gewisse Ausflussgeschwindigkeit erzeugt.

Fig. 103.



Die Widerstandshöhe $H - h$ wächst mit der Länge l der Röhre und mit dem Quadrate der Geschwindigkeit v, nimmt aber mit dem Durchmesser d der Röhre ab. Der **Widerstand** ist also

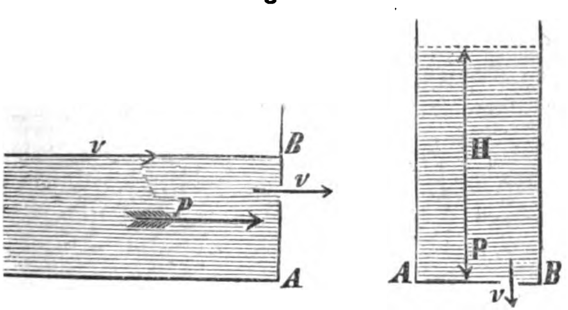
der Grösse $\frac{lv^2}{d}$ proportional.

Der Druck, den eine bewegte Flüssigkeit auf die Seitenwände äussert, nennt man den **hydrodynamischen**, zum Unterschiede von dem **hydrostatischen** Drucke einer ruhenden Flüssigkeit.

Winkelbiegungen in der Röhrenleitung sind wegen Verlust an Geschwindigkeit zu vermeiden und wo es nothwendig ist durch möglichst schwach gekrümmte zu ersetzen. Bei solchen Leitungen sammelt sich gern an den höhern Stellen in den Röhren Luft an und hemmt den Durchfluss des Wassers, daher müssen an solchen Stellen verticale Luftröhren, **Windstöcke** genannt, angebracht werden, durch welche die Luft entweichen kann. An den tiefsten Stellen bringt man viereckige Kasten, sogenannte **Wechselhäuschen** an, in denen sich die dem Wasser beigemischten festen Bestandtheile als Schlamm absetzen können.

§. 21. **Stoss des fliessenden Wassers.** Wenn das fliessende Wasser eine feste Wand in senkrechter Richtung trifft, so müssen die Theilchen ihre ganze Bewegungsgrösse durch den Widerstand der Wand verlieren.

Fig. 104.



Um den Druck P zu finden, den der Stoss des fliessenden Wassers auf eine senkrecht getroffene unbewegliche Wand (Figur 104) von der Fläche AB ausübt, denken wir uns ein Gefäss mit derselben Bodenfläche $AB = F$ bis zu jener Druckhöhe H mit Wasser gefüllt, welche eine Ausflussgeschwindigkeit v erzeugt, die gleich ist der Stromgeschwindigkeit. Nun ist offenbar bei gleicher Geschwindigkeit v der normale Druck auf die gleiche Fläche derselbe; dieser ist aber im Gefässe $P = F \,.\, H \,.\, S$, wo S das specifische Gewicht bedeutet.

Die Ausflussgeschwindigkeit v im Gefässe ist aber $v = \sqrt{2gH}$, also ist

$$H = \frac{v^2}{2g}, \text{ folglich}$$

$$P = FS \,.\, \frac{v^2}{2g} \ldots \text{d. h.?}$$

das ist die Grösse des Druckes, den der Stoss des fliessenden Wassers auf die senkrecht getroffene Fläche F ausübt.

Weicht die normal gestossene Wand, wie ein Schaufelbrett des Mühlrades, dem Strome mit der Geschwindigkeit c aus, so trifft der Strom die Wand nur mit der Geschwindigkeit $v - c$, die für diesen Fall in die Formel einzusetzen ist.

Trifft der Strom die Wandfläche nicht senkrecht, sondern unter einem spitzen Winkel φ, so zerlegt sich die Stromkraft P

in eine mit der Wandfläche parallele Componente $P . \cos \psi$ und in eine darauf senkrechte $P \sin \psi$. Daher ist der normale Druck Q des schief stossenden Flusses

$$Q = FS \frac{v^2}{2g} . \sin \psi.$$

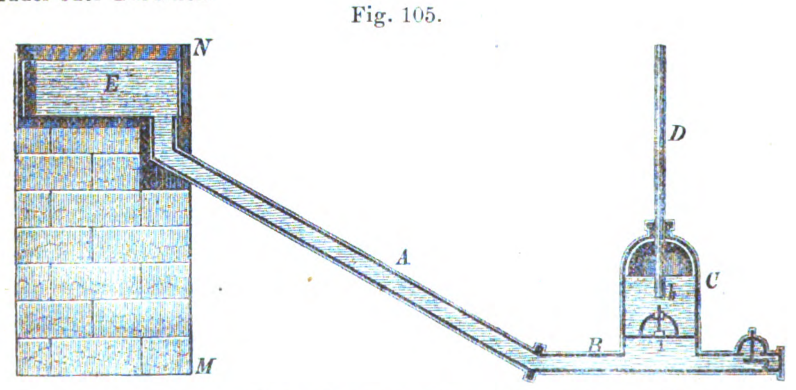
Dieser von einem continuirlichen Flusse herrührende Druck ist kein momentaner Stoss, sondern eine continuirliche Kraft.

Aus dem Ausdrucke der Stosskraft des schief anstossenden Wassers ist zu ersehen, warum man Brückenpfeiler, die den Stoss des vorüberfliessenden Wassers aushalten müssen, stets so baut, dass sie von den nach der Richtung des Stromstriches in Bewegung befindlichen Wassertheilchen nur schief getroffen werden können. Man gibt ihnen eine keilförmige Gestalt oder eine geneigte Lage.

Weil sich der Stoss aus der gegenseitigen Geschwindigkeit ergibt, so ist es einerlei, ob das Wasser gegen eine feste Wand strömt, oder ob eine Wand, z. B. Schifffläche, im ruhigen Wasser sich fortbewegt. Daher bei dem Bau der Schiffe ähnliche Rücksicht auf die Gestalt der Vorderseiten zu nehmen ist wie bei Brückenpfeilern.

Den Stoss des fliessenden Wassers benützt man zur Bewegung von Maschinen mittelst der Wasserräder, deren es zwei Arten gibt: a) verticale Wasserräder sind ober-, mittel- und unterschlächtige; b) horizontale Kreiselräder oder Turbinen.

Fig. 105.



Die Hauptbestandtheile desselben (Fig. 105) sind: der Wasserbehälter E, eine Zuleitungsröhre AB, der Kopf des Widders C (ein Heronsball) mit der Steigröhre D und das Ventil 2. Durch das Ventil 1 kann das Wasser in den Kopf, durch 2 aber in's Freie hinaustreten. Während

des Ausfliessens durch das Ventil 2 bekommt das Wasser einen starken Strom, schlägt das Ventil 2 zu und dringt mit der früheren Kraft des Stromes in den Heronsball, darin wird die Luft comprimirt und treibt das eindringende Wasser in die Steigröhre *D*. — Bliebe 2 fortwährend geschlossen, so würde das Wasser nur zur Höhe des Behälters sich erheben können, daher drückt man für einen Augenblick das Ventil 2 nieder, lässt es aber sogleich frei; das durch 2 ausfliessende Wasser schlägt es wieder zu, versperrt sich den Weg, übt den verstärkten Druck, hebt das Ventil *1*, dringt mit verstärktem Drucke so lange in den Kopf, bis in der Röhre der Druck so viel nachgelassen, dass 2 in Folge des eigenen Gewichtes sinkt, das Wasser wieder bei 2 austritt und die angegebene Reihe der Wirkungen erneuert, die man Stösse des Widders nennt. — Die Erfinder Mongolfier hoben damit das Wasser auf 108 Fuss. Eine genaue Construction erfordert viel Sorgfalt, das Stossen bringt bald eine theilweise Störung des Ganges hervor und es wird viel Wasser verschwendet, daher hat sich diese Maschine, so sinnreich sie ist, nur einer geringen Anwendung zu erfreuen.

Fünfter Abschnitt.

Aërostatik.

§. 1. **Luftförmige Körper und Maass ihrer Expansivkraft.** Als charakteristische Eigenschaft ausdehnsam flüssiger Körper ist hervorzuheben: die absolut leichte Verschiebbarkeit der Theilchen unter einander, die Ausdehnsamkeit und die Zusammendrückbarkeit.

Die Ausdehnsamkeit oder das Bestreben, sich fortwährend in dem Raume zu erweitern, spielt bei luftförmigen Körpern die Hauptrolle. Alle Erscheinungen, die aus der absolut leichten Verschiebbarkeit und der Wirkung der Schwerkraft entspringen, entsprechen denen in der Hydrostatik, nur erleiden sie durch die Ausdehnsamkeit charakteristische Abänderungen. Vermöge der Ausdehnsamkeit üben luftförmige Körper auf ihre eigenen Schichten, so wie auf die Wände der sie einschliessenden Gefässe einen

Druck aus, gegen den der Druck, den sie vermöge der Schwerkraft äussern, in den meisten Fällen unmerklich ist.

Den auf die Einheit der gedrückten Fläche bezogenen Druck eines luftförmigen Körpers nennt man Spannkraft oder Expansivkraft. — Die Expansivkraft drückt man gewöhnlich durch den hydrostatischen Druck einer Quecksilbersäule aus, die der Expansivkraft des Gases Gleichgewicht hält.

Die luftförmigen Körper theilen wir in zwei Gruppen ein, in solche, die bei zunehmendem Drucke oder bei Erniedrigung der Temperatur in der Natur tropfbar flüssig erscheinen, und in solche, die unter den gewöhnlichen Umständen nicht condensirt werden; erstere nennt man Dämpfe und Dünste, letztere Gase.

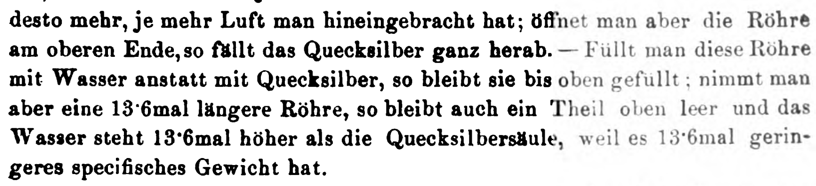
A. Statik der Gase.

§. 2. **Druck der atmosphärischen Luft.** Wie jede Flüssigkeit in Folge der Schwere einen Druck auf die Unterlage ausübt, so drückt auch die über der ganzen Erde stehende Luft auf die Oberfläche derselben; daher haben die untersten Schichten der Atmosphäre den Druck der darüber stehenden Luftsäule zu tragen, sie werden also so lange zusammengedrückt, bis die grösser gewordene Expansivkraft dem Drucke das Gleichgewicht hält. Der Luftdruck ist sonach an jedem Orte der Erdoberfläche und der Atmosphäre selbst gleich dem Gewichte der darüber stehenden Luftsäule.

Die Grösse des Luftdruckes bestimmte Torricelli. Um Torricelli's Versuch anzustellen, fülle man eine über 30 Zoll lange, ziemlich weite, an einem Ende luftdicht geschlossene Glasröhre (Fig. 106) mit reinem Quecksilber, verschliesse sie und stelle sie umgekehrt in ein Gefäss mit Quecksilber; wird sie dann geöffnet, so tritt etwas Quecksilber heraus, aber es bleibt darin eine Quecksilbersäule von beiläufig 28 Zoll (760^{mm}) Höhe über der äussern Quecksilberoberfläche stehen. — Hat man das Quecksilber von Luftbläschen gereinigt, so entsteht in der Röhre über der Quecksilbersäule ein luftleerer Raum; während also die innere Oberfläche des Quecksilbers keinem Drucke ausgesetzt ist, drückt auf die äussere die atmosphärische Luft und treibt mit der auf die

Basis der Quecksilbersäule entfallenden Druckkraft das Quecksilber so lange in der Röhre in die Höhe, bis der hydrostatische Druck der Quecksilbersäule dem Luftdrucke das Gleichgewicht hält.

Fig. 106.



Bezeichnet man mit D den Luftdruck auf eine beliebige Fläche B, die Höhe der Quecksilbersäule mit H und mit S sein specifisches Gewicht, so ist

$$D = BHS.$$

Die Expansivkraft E aber ist der Druck auf die Gleicheneinheit, also hat man für diese $B = 1$,

$$E = HS.$$

Toricelli's Versuch fällt in das J. 1643; damit war der Glaube an „horror vacui" beseitigt und der Impuls zum Barometer gegeben.

Zum Beweise, dass die gehobene Quecksilbersäule wirklich vom äussern Luftdrucke getragen wird, lässt man einige Luftblasen in die Röhre treten, und man sieht das Quecksilber sinken und zwar desto mehr, je mehr Luft man hineingebracht hat; öffnet man aber die Röhre am oberen Ende, so fällt das Quecksilber ganz herab. — Füllt man diese Röhre mit Wasser anstatt mit Quecksilber, so bleibt sie bis oben gefüllt; nimmt man aber eine 13·6mal längere Röhre, so bleibt auch ein Theil oben leer und das Wasser steht 13·6mal höher als die Quecksilbersäule, weil es 13·6mal geringeres specifisches Gewicht hat.

An höher liegenden Orten der Erde hat die drückende Luftsäule eine geringere Höhe, und der Queksilberstand erscheint dort wirklich niederer.

a) **Grösse des Luftdruckes.** Setzt man in $D = BHS$, $B = 1\square''$, $H = 28''$, $S = 14{\cdot}144$ Loth, so ergibt sich, dass der Luftdruck auf einen Quadratzoll bei einem Quecksilberstande von 28 Zoll nahezu $12^1/_2$ Pfund beträgt. Eine Kraft, die diesem Drucke gleich ist, pflegt man eine **Atmosphäre** zu nennen.

Rechnet man im französischen Maasse $B = 1$ Quadratcentimeter, $H = 76^{cm.}$, so ist $S = 13{\cdot}6$ Gramm, und man hat für den Luftdruck auf $1\square^{cm.}$ $D = 1033{\cdot}6$ Gramm oder $1{\cdot}0336$ Kilogramm. (Gewöhnlich nimmt man pro Quadratmeter 10334 Kilogramm.)

Unter gewöhnlichen Verhältnissen merken wir gar nicht den ungeheuren Druck, der auf unsern Organismus wirkt. Der Grund liegt darin, dass der Druck auf alle Theile des Körpers gleichmässig von allen Seiten ausgeübt wird. Die im Innern des Körpers befindlichen ausdehnsamen und tropfbaren Flüssigkeiten halten dem atmosphärischen Drucke das Gleichgewicht; gewinnen aber in grossen Höhen, wo der Luftdruck bedeutend geringer ist, ein solches Uebergewicht, dass das Blut aus den Schleimhäuten der Mund- und Nasenhöhlen hervortritt. — Die Gebrüder Weber haben gezeigt, dass die Extremitäten des Thierkörpers von dem im Gelenke wirkenden Luftdrucke getragen werden, so die Beine und Arme des Menschen, die durch luftleere Gelenkskapseln verbunden sind.

Aufgabe. Wie viel Meter hoch vermag der Luftdruck beim Barometerstand $= 760^{mm}$ das Wasser in einem luftleeren Raume zu heben?

§. 3. **Barometer.** Instrumente, die dazu geeignet sind, die Grösse des jedesmaligen Luftdruckes zu messen, nennt man Barometer. Versieht man die vertical aufgestellte Torricelli'sche Röhre mit einer Scala, an welcher die Höhe der Quecksilbersäule über dem äusseren Niveau genau gemessen werden kann, so hat man ein Quecksilber-Barometer.

Die Construction des Barometers erfordert sehr viel Sorgfalt, um genaue Angaben zu erhalten; aber auch der Beobachter muss mit den Umständen, die auf den Stand desselben Einfluss nehmen können, genau vertraut sein. — Aus dem hydrostatischen Drucke auf die Flächeneinheit $= HS$ ersieht man, dass zu einem Barometer, dessen Angaben mit andern verglichen werden sollen, chemisch reines Quecksilber gehört, weil jeder noch so geringe Zusatz eines andern Stoffes sein specifisches Gewicht und die Höhe der Quecksilbersäule ändert und die Röhrenwand aus dem unreinen Quecksilber Schmutz aufnimmt.

Von Staub und Schmutz reinigt man das Quecksilber, indem man es durch Hirschleder durchpresst, von darin aufgelösten Stoffen, indem man es mit verdünnter Salpetersäure und mit destillirtem Wasser wäscht. Luft und Feuchtigkeit entfernt man durch Erwärmen.

Die Weite der Barometerröhre muss wegen der Capillardepression nicht unter 2 Linien betragen; damit die Quecksilbersäule ein genaues Maass des Luftdruckes gebe, muss nicht nur die Röhre selbst rein, sondern auch über dem Quecksilber luftleer sein; daher muss man die Feuchtigkeit und die Luft, die an der innern Röhrenwand adhärirt, durch Auskochen des Quecksilbers heraustreiben.

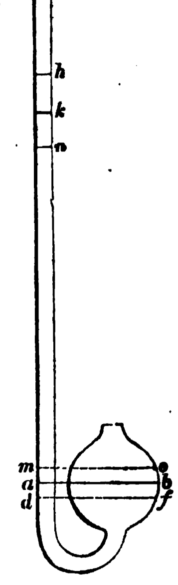
Bei längerem Gebrauche dringt aber in Folge der Absorption die Luft allmälig in die Quecksilbermasse und kommt auch in die Torricelli'sche Leere, und drückt die Quecksilbersäule herab; aber auch Quecksilberoxyd bildet sich allmälig in Berührung mit der Luft und adhärirt am Glase, weshalb die Oberfläche weniger convex erscheint; dieses ändert das Steigen des Quecksilbers,

daher man vor dem Ablesen des Quecksilberstandes durch Anklopfen die Röhre erschüttern muss, damit sich die convexe Oberfläche gehörig einstellt. — Ob der obere Raum der Röhre luftleer ist, merkt man beim vorsichtigen Neigen der Röhre, das Quecksilber muss den Raum ganz ausfüllen und an die Wölbung mit einem hellen Klange sich anlegen. — Treten die erwähnten Uebelstände ein, so muss von neuem das Quecksilber gereinigt und ausgekocht werden.

Man hat dem Barometergefässe verschiedene Formen gegeben, und darnach die Barometer benannt, als: das birnförmige, gemeine Barometer, das Gefäss- und Heberbarometer etc.

a) Das gemeine Barometer (Fig. 107) besteht aus einer Barometerröhre, die am untern Ende aufwärts gekrümmt ist und in ein birnförmiges Gefäss ausläuft. Die Röhre wird an einem Brette befestigt und ihr zur Seite eine Scala angebracht, an der man die jedesmalige Höhendifferenz, die man Barometerstand nennt, als Maass des Luftdruckes abliest. Der Anfangs- oder Nullpunkt der Scala muss mit der Oberfläche des Quecksilbers im untern Gefässe zusammenfallen. Die Oberfläche des äussern Quecksilberstandes ändert sich aber mit der Aenderung des Luftdruckes, indem das Quecksilber gleichzeitig in der Röhre steigt und im Gefässe sinkt, oder umgekehrt. Es müsste also zur genauen Ablesung eine Scala mit doppelter Ablesung und dem Nullpunkt gegen die Mitte zu, oder aber eine verschiebbare Scala angebracht sein, deren Nullpunkt vor dem Ablesen auf das äussere Niveau gestellt wird.

Fig. 107.



Angenommen der Nullpunkt der an der Röhre befestigten Scala befinde sich bei a in der horizontalen Ebene ab und die Quecksilbersäule reiche bis k, so ist der Barometerstand $h = ka$, folglich der auf die Flächeneinheit bezogene Luftdruck $= hs$. Sinkt nun der Quecksilberspiegel ab in die Ebene df herab, während es sich in der Röhre bis h erhebt, so ist die veränderte Höhe $h_1 = ad + h + kh$, an der Scala aber liest man diesmal nur die Höhe $h + hk$ ab, also um ad zu wenig; wäre das Quecksilber in der Röhre gefallen, so hätte sich der Nullpunkt gehoben und man würde an der Scala zu viel ablesen. Es ist deshalb bei einer fixen Scala mit einmaliger Ablesung eine Correction der

abgelesenen Höhe nöthig, die darin besteht, dass man den Fehler ad aus hk anzugeben im Stande ist. Bezeichnen wir mit R den Halbmesser des Gefässes, mit r den der Röhre, so ist das als cylindrisch anzunehmende Volumen zwischen den durch b und f gehenden horizontalen Ebenen $= R^2\pi \cdot bf$, das Volumen der cylindrischen Säule $hk = r^2\pi \cdot hk$ und $R^2\pi \cdot bf = r^2\pi \cdot kh$, folglich ist beim Steigen des Quecksilbers dazu zu addiren die Correction

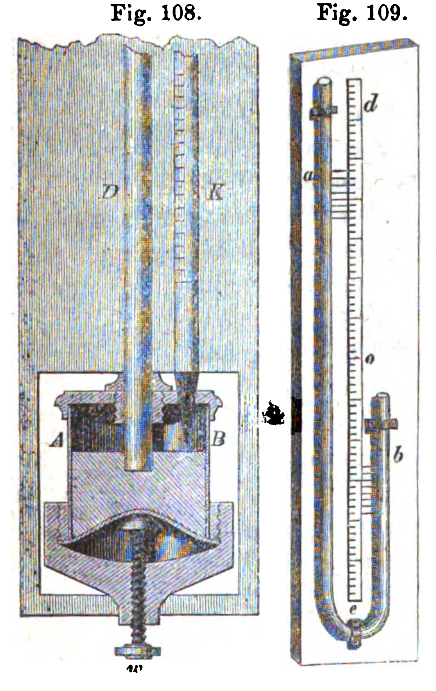
$$bf = ad = \frac{r^2}{R^2} \cdot hk.$$

Im zweiten Falle, wo das Quecksilber um kn gefallen ist, hat man $am = kn \cdot \frac{r^2}{R^2}$ von der abgelesenen Höhe zu subtrahiren.

Diese Correction setzt voraus, dass die Barometerröhre an der Stelle, wo das Quecksilber sinkt und steigt, überall gleiche Weite hat.

b) Das Gefässbarometer (Fig. 108) veranlasst in Folge der Veränderlichkeit der äussern Quecksilberoberfläche denselben Fehler beim Ablesen des Barometerstandes oder des Luftdruckes, wenn man nicht mittelst der Hebung oder Senkung des Gefässbodens die Quecksilberoberfläche jedesmal vor dem Ablesen an den Nullpunkt der Scala bringt. Wo eine Hebeschraube w vorhanden ist, gibt die Spitze eines gegen die Oberfläche des Quecksilbers gerichteten elfenbeinernen Kegels den Nullpunkt der Scala an, und es wird durch die Schraube der Boden so gehoben oder gesenkt, dass die Spitze gerade das Quecksilber berührt. — Oft zeigt, wenn das Gefäss undurchsichtig ist, ein Schwimmer die Lage des Quecksilberspiegels an.

Fig. 108. Fig. 109.



Bei Gefässbarometern, bei denen das Gefäss genau cylindrisch und der Halbmesser desselben und der Röhre ermittelt ist, lässt sich, wie gezeigt, der Fehler corrigiren. Um die Hebung und Senkung des Bodens zu ersparen,

werden nach Kappeller die Gefässbarometer so eingerichtet, dass die Oberfläche des Quecksilbers im Gefässe dann am Nullpunkte sich befindet, wenn die Säule in der Röhre genau auf 28 Zoll steht; an der Aussenseite des Gefässbodens ist die Zahl $\frac{r^2}{R^2}$ verzeichnet, die man mit der Differenz von 28 Zoll und der abgelesenen Höhe zu multipliciren und nach obiger Angabe in Rechnung zu bringen hat.

c) Das Heberbarometer (Fig. 109) besteht aus einer Barometerröhre, die am untern Ende nach oben zurückgebogen und bis auf den Luftzutritt verschlossen wird. Um den Abstand der Oberfläche im geschlossenen und offenen Schenkel zu messen und so den Barometerstand zu erfahren, versieht man es am besten mit einer Scala, deren Nullpunkt irgendwo in der Mitte, z. B. in *o* liegt, und addirt die von *o* gegen die beiden Oberflächen hin gezählten und abgelesenen Höhen.

Ablesung. Soll der Barometerstand abgelesen werden, so muss das Instrument in die verticale Lage gebracht, die Temperatur an dem ihm beigegebenen Thermometer beobachtet, die untere Quecksilberoberfläche auf den Nullpunkt eingestellt werden, falls eine solche Vorrichtung vorhanden ist; dann wird der Nonius, der mit einer Visirvorrichtung, Absehen genannt, versehen ist, so gerichtet, dass die oberste Quecksilberkuppe mit dem Absehen in derselben Ebene liegt.

Reisebarometer. Zum Behufe der Beobachtungen auf Reisen muss das Barometer eine Vorrichtung bekommen, die es vor Beschädigung schützt. Das ganze Instrument kommt in eine Metallröhre, die nur an der Stelle, wo die Oberfläche des Quecksilbers steigt und sinkt, zwei diametral gegenüber liegende Spalten mit Scala und Nonius hat, um den Stand beobachten zu können. Damit die Röhre beim Tragen durch das Anschlagen des Quecksilbers nicht zerbrochen werde und die Luft in die Röhre nicht eindringe, verschliesst man die Mündung, nachdem man sorgfältig die Röhre geneigt und sich der leere Raum ausgefüllt hat, mit einem elastischen Körper, so dass es vor grossen Schwankungen gesichert erscheint. — Am bequemsten ist das Gay-Lussac'sche Reisebarometer (Fig. 110). Die beiden Schenkel sind durch ein enges Glasrohr verbunden; der kürzere wird auch am Ende zugeschmolzen und in einer angemessenen Entfernung mit einer sehr kleinen Oeffnung versehen, welche wohl der Luft den Eintritt, aber nicht dem Quecksilber den Austritt gestattet. Es wird so viel Quecksilber hineingegeben, dass nach Umkehrung der Röhre, wo der leere Raum ausgefüllt erscheint, noch ein kleiner Rest im kürzeren Schenkel bleibt. So lange die Krümmung mit Quecksilber ausgefüllt bleibt, kann beim Umkehren keine Luft hinein, sollte jedoch ein

Luftbläschen eintreten, so ist das Hinaufsteigen derselben in den leeren Raum dadurch verhindert, dass die längere Röhre aus zwei Stücken besteht und das Fig. 110. u. 111. obere, in eine Spitze auslaufend, in das untere mündet. Die Luft bliebe also in dem Raume zwischen der Spitze und der Röhrenwand, und könnte durch Umkehren der Röhre wieder herausgebracht werden. — Kappeller hat Reisebarometer genau nach Gay-Lussac construirt, nur den kürzern Schenkel nicht zugeschmolzen (Fig. 111), sondern mit Leder verschlossen.

Hat man die Quecksilberhöhe bei einer Temperatur t^0 gleich H abgelesen, so muss, wenn die Maasse des Luftdruckes gleichartig sein sollen, der Quecksilberstand auf 0^0 reducirt werden. Nun lehrt aber die Erfahrung, dass die Ausdehnung der Quecksilbersäule bei einer Erwärmung von 0^0 bis 80^0 R. ein $\frac{2}{111}$ tel der anfänglichen Länge der Säule beträgt, ist diese Länge h bei 0^0, so ist der Zuwachs

$$\text{für je } 1^0 \text{ C.} = \frac{2h}{111 \cdot 100} = \frac{h}{5550}.$$

Demnach ist die bei t^0 abgelesene Höhe H in C.^{0}

$$H = h + \frac{h \cdot t}{5550},$$

daraus die Höhe bei 0^0

$$h = \frac{5550 \cdot H}{5550 + t} = H - \frac{Ht}{5550 + t} \;\ldots\; (1).$$

Ist die Temperatur t unter 0^0, so ist t negativ zu nehmen und $\frac{Ht}{5550 - t}$ hinzu zu addiren. — Hat sich gleichzeitig die Länge der Scala geändert und ist c ihr Ausdehnungs-Coëfficient, ihre Länge bei 0^0 aber h, so ist die Höhe x bei t^0 über Null $x = h\,(1 + ct)$, und diese Höhe x ist in der Gleichung (1) statt h zu setzen.

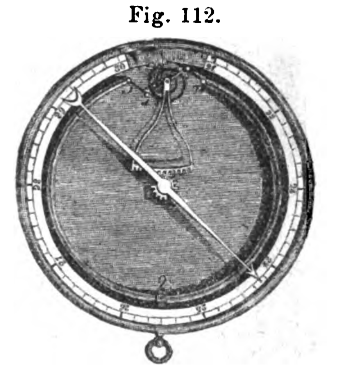
Ein Barometer, dessen Röhrendurchmesser sieben Linien beträgt, ist von der Wirkung der Capillarität frei. Diese Weite können jedoch nur solche Barometer haben, die stets an demselben Orte bleiben. Ein derartiges Barometer heisst man Normalbarometer; es dient zur Vergleichung mit andern Barometern, der Unterschied der Quecksilberhöhen gibt die Capillarwirkung an dem verglichenen Barometer. Diese Capillardepression muss zu dem jedesmaligen Stande addirt werden; damit sie jedoch immer gleich bleibe, muss die Barometerröhre dort, wo das Quecksilber steigt und fällt, gleiche Weite haben. Bei Heberbarometern ist diese Correction nicht nothwendig, da sie in beiden Schenkeln gleich ist und sich gegenseitig aufhebt.

Unter andern Barometern, die man vorgeschlagen hat, um die Veränderungen des Luftdruckes auffallender zu machen, sind bei gehöriger Behand-

lung ziemlich genau und bequem zum Transport das Metall-Barometer von Bourdon und das Aneroïdbarometer von Vidi. Letzteres besteht der Hauptsache nach aus einem cylindrischen luftleeren Gefäss von Metall, dessen Boden von starkem, der Deckel aber von dünnem mit kreisförmigen Biegungen versehenen sehr elastischen Blech besteht. Je stärker der Luftdruck ist, desto tiefer wird der Deckel hineingedrückt; bei abnehmendem Luftdruck geht der Deckel wieder in die Höhe. Diese Bewegung wird durch ein empfindliches Hebelwerk einem Zeiger mitgetheilt, der dadurch den Luftdruck ziemlich genau anzeigt.

Bourdon's Aneroïdbarometer (Fig. 112) hat die Form einer Taschenuhr und besteht aus einer gekrümmten luftleeren Röhre *abc* von dünnem Messingblech. Die äussere Seite dieser Röhre bietet dem Luftdrucke eine grössere Fläche dar als die innere, daher wird die Röhre, wenn der Luftdruck zunimmt, noch mehr gekrümmt; nimmt der Luftdruck aber ab, so nimmt auch ihre Krümmung ab. — Die freien Enden der Röhre bewegen sich bei diesen Krümmungen und drehen mittelst eines Hebels einen Zeiger, welcher auf einer Scala den Barometertstand anzeigt. Die Scala wird aus Beobachtungen der gleichzeitigen Angaben eines guten Barometers angefertigt.

Fig. 112.



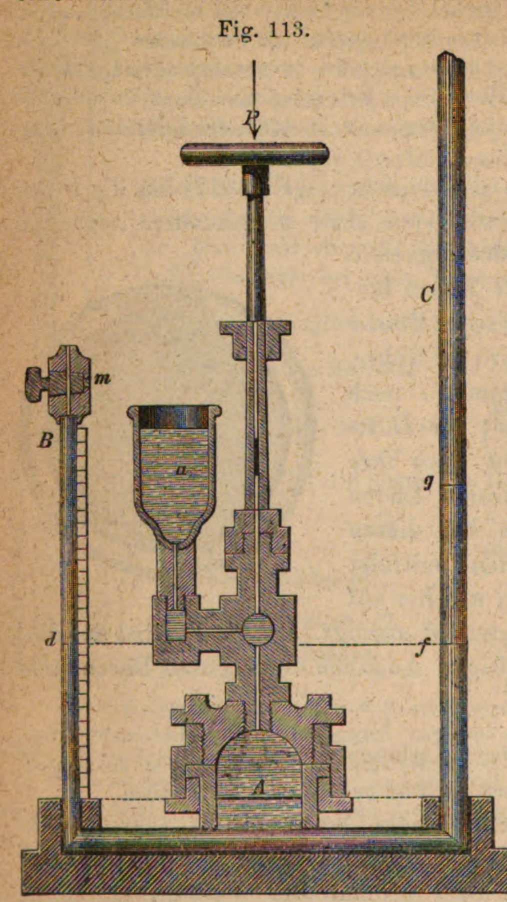
Grössere Temperaturänderungen bringen bei Metallbarometern Störungen hervor, indem diese bei der Anfertignng der Scala nicht berücksichtigt werden können; diese sind jedoch bei Vidi geringer als bei Bourdon.

§. 4. **Das Mariotte'sche Gesetz.** Mariotte hat zuerst (1683) durch Versuche gezeigt, dass bei ungeänderter Temperatur die Expansivkraft der Luft in demselben Verhältnisse steigt und fällt, in welchem die Dichte derselben durch eine drückende Kraft vergrössert oder vermindert wird. — Spätere Versuche haben dargethan, dass alle Gase bis zu einer gewissen Grenze das Mariotte'sche Gesetz befolgen.

Das Mariotte'sche Gesetz kann mit dem in Figur 113 dargestellten Apparate nachgewiesen werden. *A* ist ein gusseisernes Gefäss, oben mit einer Fassung versehen, an die eine Druckpumpe angeschraubt werden kann. Das Gefäss verläuft unten in zwei horizontale gusseiserne Röhren, welche an den vertical aufwärts

gebogenen Enden die luftdicht eingefassten Röhren B und C tragen. Die Röhre B ist in gleiche Volumtheile getheilt; mittelst eines luftdicht schliessenden Hahnes kann man ein reines trockenes Gas einlassen; C ist offen und so hoch als möglich. Ist die Röhre B bis unten mit Gas gefüllt und steht das Quecksilber in beiden Röhren gleich hoch, so hat das Gas dieselbe Expansivkraft wie die äussere Luft und erleidet den am Barometer gemessenen Druck.

Fig. 113.



a) Wird nun die Röhre B luftdicht geschlossen und mittelst der angesetzten Pumpe das Wasser aus dem Behälter a in das untere Gefäss A gegen das Quecksilber gepresst, so wird das Gas in B zusammengedrückt und gleichzeitig das Quecksilber in C steigen. Bleibt z. B. das Quecksilber in C bei g, in B bei d stehen, so hält die Expansivkraft e des eingeschlossenen verdichteten Gases nebst dem äussern Luftdrucke $= bs$ auch dem Drucke der Quecksilbersäule $fg = h$ das Gleichgewicht, also $e = (b + h)\,s$. Wird dann noch mehr Wasser hineingepresst, so wird das Gas in B noch mehr zusammengedrückt, erhält eine grössere Expansivkraft e', und die Niveaudifferenz h wird grösser $= h'$, also $e' = (b + h')\,s$ etc. Somit hat man

$$e : e' = (b + h) : (b + h') \ldots (1),$$

d. h. die Expansivkräfte eines Gases verhalten sich bei unge-

änderter Temperatur wie die auf dasselbe wirkenden Druckkräfte.

Vergleicht man die in B gemessenen Volumina v, v' des zusammengedrückten Gases, so lehren die Versuche, dass

$$(b + h) : (b + h') = v' : v \ldots (2),$$

d. h. das Volumen eines Gases nimmt in dem Verhältnisse ab, in welchem der Druck zunimmt.

Wird aber eine Masse zusammengedrückt, so wächst die Dichte d, d' in demselben Verhältnisse, in welchem das Volumen abnimmt, also

$$d : d' = v' : v,$$

folglich $d : d' = (h + b) : (h + b') \ldots (3)$,

d. h. die Dichten verhalten sich wie die drückenden Kräfte. Aus (1) und (3) folgt:

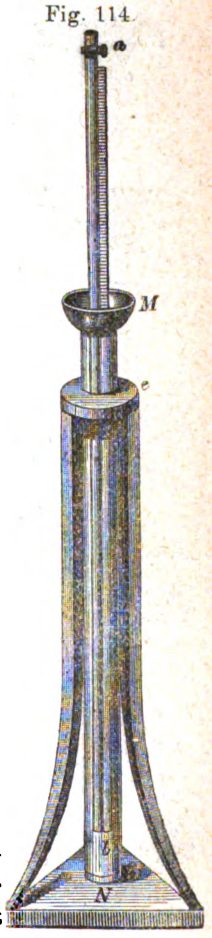
$$e : e' = d : d' \ldots (4),$$

oder $$e : e' = v' : v \ldots (5),$$

d. h. die Expansivkraft eines Gases wächst im geraden Verhältnisse mit seiner Dichte. Diese Proportion (4) ist der eigentliche Ausdruck des Mariotte'schen Gesetzes; die Gleichungen (1) und (5) sind nur andere Formen desselben.

b) Das Mariotte'sche Gesetz gilt aber auch für einen Druck, der kleiner ist als eine Atmosphäre. Um dieses nachzuweisen füllt man eine mit Volumscala versehene Barometerröhre ab (Fig. 114) mit Quecksilber, lässt etwas trockene Luft hinein und taucht sie mit dem offenen Ende in das Quecksilber einer tiefen Röhre MN so weit ein, dass das Quecksilber in und ausser der Röhre gleich hoch steht. Nun steht die abgesperrte Luft nur unter dem Drucke der atmosphärischen Luft und hat mit ihr gleiche Expansivkraft. — Zieht man die Röhre ab heraus, so nimmt die eingeschlossene Luft ein grösseres Volumen an, die Dichte und die Expansivkraft werden vermindert, und es erhebt

Fig. 114.



sich in derselben eine Quecksilbersäule h, deren hydrostatischer Druck, vermehrt um die Expansivkraft e der eingeschlossenen Luft, dem äussern Luftdrucke das Gleichgewicht hält, also ist $e + hs = bs$, oder $e = (b - h)\,s$; bei weiterem Herausziehen wird $e' = (b - h')\,s$ sein etc. Mithin ist

$$e : e' = (b - h) : (b - h') \ldots (1a).$$

Durch Versuche ergibt sich

$$(b - h) : (b - h') = v' : v,$$

also ist auch hier $e : e' = d : d'$.

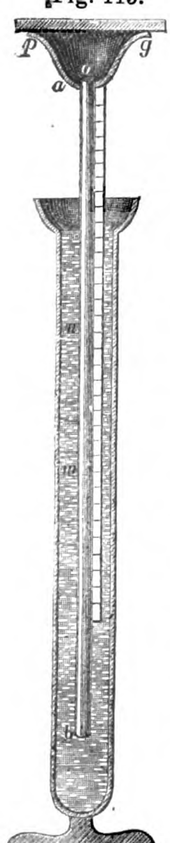


Fig. 115.

Grenzen der Giltigkeit des Gesetzes. Das Mariotte'sche Gesetz befolgen selbst die nicht permanenten Gase, die durch Druck und Abkühlung tropfbar flüssig werden, so lange sie von ihrem Condensationspunkte weit genug entfernt sind; in der Nähe des Condensationspunktes wächst aber ihre Dichte stärker als die Expansivkraft. Daher gilt das Mariotte'sche Gesetz nicht für gesättigten, wohl aber für überhitzten Wasserdampf, und nicht für Gase, denen dieser beigemengt ist.

Die Untersuchungen von Natterer und Redtenbacher, die eine Compressionsmaschine mit 2000 bis 4000 Atmosphären construirten, lehren, dass sich bei sehr hohem Drucke alle Gase in einem weit stärkeren Verhältnisse verdichten als die drückende Kraft zunimmt. Bei 2700 Atmosphären sollte das Volumen den 2700ten Theil des anfänglichen betragen, es beträgt aber bei Wasserstoff den 1008ten, bei Stickstoff den 705ten und bei atmosphärischer Luft den 726ten des ursprünglichen Volumens. — Das Mariotte-sche Gesetz ist also bei hohem Drucke nicht mehr richtig, wie dies auch die Versuche von Regnault ausser allen Zweifel gestellt haben.

Anwendung des Mariotte'schen Gesetzes. 1. Leslie's Stereometer (Fig. 115) dient zur Bestimmung des Volums sehr poröser oder pulverförmiger Körper; es besteht aus einer an beiden Enden offenen in gleiche Volume eingetheilten Barometerröhre ab, die oben mit einem weitern Gefässe pg versehen ist, das nur durch eine kleine Oeffnung mit der Röhre ab communicirt und mittelst einer eben geschliffenen Glasplatte luftdicht verschlossen wird. Wird die Röhre bis an die kleine Oeffnung o in's Quecksilber getaucht, hierauf die Platte luftdicht angepasst, so hat die abgesperrte Luft die Dichte und Expansivkraft der Atmosphäre. Zieht man

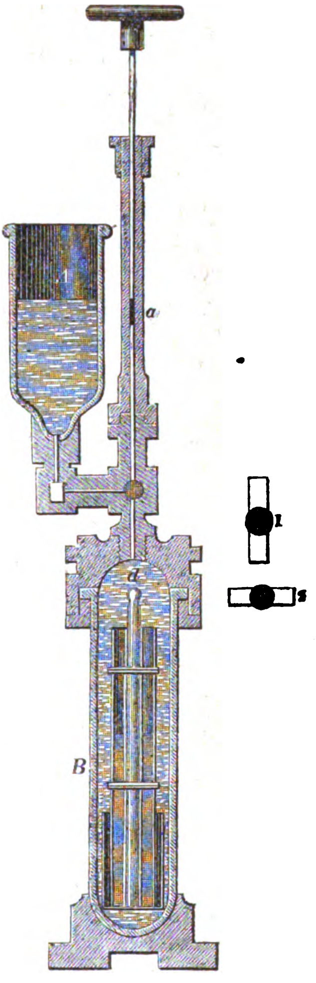
ab in die Höhe, bis die Quecksilbersäule in derselben gleich wird der halben Barometerhöhe $\frac{b}{2}$, so wirkt nur noch der halbe Luftdruck auf die eingeschlossene Luft, mithin ist ihre Dichte nur halb so gross, aber ihr Volumen zweimal grösser als anfänglich; mithin ist das Volumen des jetzt mit Luft gefüllten Röhrenstückes *om* = dem Gefässvolumen *pg*. Taucht man die Röhre wieder bis *o* ein, bringt den pulverförmigen Körper vom unbekannten Volumen *V* in das Gefäss *pg* und hebt wieder *ab*, bis die aufsteigende Quecksilbersäule bei *n* gleich wird $\frac{b}{2}$, so nimmt die eingeschlossene Luft wieder das doppelte Volumen ein, also

$$2\,(pg - V) = pg - V + on,$$

daraus das Volumen

$$V = om - on = mn.$$

Fig. 116.



2. Der Compressions-Apparat (Fig. 116) besteht aus einem dicken, festen Glascylinder, ist oben mit einer Fassung zum Anschrauben einer Druckpumpe *a* mit dem Wasserbehälter *A* versehen. Die Figuren *1*, *2* geben im Durchschnitte die Stellungen des den Wasserbehälter mit der Pumpe und dem Cylinder verbindenden Hahnes. In den Cylinder wird ein Gefäss mit Quecksilber gebracht und zwei Röhren in dasselbe gestellt, die eine, nach Atmosphären eingetheilt, enthält trockene Luft, die andere ist mit Flüssigkeit gefüllt und nur an dem engen untern Theile mit einer Scala versehen, um die geringe Zusammendrückung in Theilen des Flüssigkeitsvolums ablesen zu können. Letztere Röhre nennt man Piezometer. Nun wird der Cylinder mit Wasser gefüllt und oben Wasser eingepumpt. Bei der Stellung *1* tritt beim Hinausziehen des Kolbens das Wasser unter die Pumpe und wird bei der Stellung *2*, wenn man herabdrückt, in den Cylinder gepresst. Dadurch erfährt die ganze Masse der Flüssigkeit einen gewaltigen Druck, den man an der mit Atmosphäreneintheilung versehenen Röhre abliest, gleichzeitig sieht man am Piezometer, wie viel die Zusammendrückung der tropfbaren Flüssigkeit bei dem abgelesenen Drucke beträgt. — Nimmt man statt des Piezometers eine

cylindrische mit einer Luftart gefüllte Röhre, so wird man sehen, ob sie condensirbar ist oder nicht, und bei wie viel Atmosphären sie tropfbar flüssig wird. Man kann damit auch das Mariotte'sche Gesetz prüfen.

Fig. 117.

3. Manometer. Manometer nennt man Instrumente, die zur Bestimmung der Expansivkraft eines eingeschlossenen Gases oder Dampfes dienen.

a) Verdichtungsmanometer (Fig. 117). Die Röhre ad ist bei k geschlossen und mit Luft gefüllt, während die zweite Röhre bc mit dem Gase von der unbekannten Expansivkraft E angefüllt ist. Die Expansivkraft E hält nicht nur der bis m_1 gehobenen Quecksilbersäule $m_1 n_1 = h$, sondern nebstdem noch der vermehrten Expansivkraft E_1 der auf das Volumen am_1 zusammengedrückten Luft das Gleichgewicht, also ist

$$E = E_1 + hs.$$

Ist die anfängliche Expansivkraft $e = bs$, wenn die eingeschlossene Luft das Volum am_1 hat, so ist nach dem Mariotte'schen Gesetze

$$E_1 : e = am : am_1, \text{ also } E_1 = e \cdot \frac{am}{am_1},$$

mithin

$$E = \frac{am}{am_1} \cdot e + hs = \left(\frac{am}{am_1} \cdot b + h\right) \cdot s \text{ . . . d. h.?}$$

b) Ist das Manometer offen (bei k), so wird die Luft nicht zusammengedrückt, also ist $am_1 = am$ zu setzen, folglich $E = (b + h) s$ . . . d. h.?

c) Beim luftleeren Manometer ist $b = o$, folglich $E = hs$ . . . d. h.?

§. 5. **Das Gay-Lussac'sche Gesetz.** Das Gesetz, nach welchem die Expansivkraft eines Gases bei unveränderlichem Volumen sich mit der Temperatur ändert, wird nach seinem Entdecker das Gay-Lussac'sche genannt. Zur Nachweisung dieses Gesetzes kann man sich des Apparates (Fig. 118) bedienen. Ein cylindrisches Gefäss A, welches sich in einem mit einer Flüssigkeit gefüllten Behälter M befindet, dient zur Aufnahme eines reinen, trockenen Gases und steht durch sehr enge Röhren mit einem zweiten mit Quecksilber gefüllten Gefässe F in Verbindung.

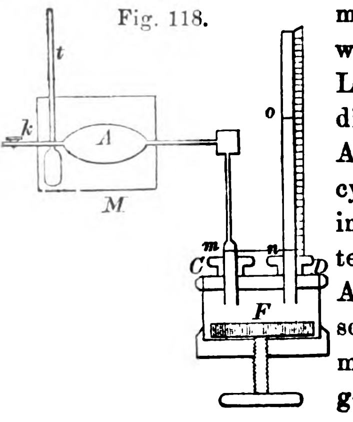


Fig. 118.

Im Quecksilbergefässe sind bei C und D zwei gleichweite Röhren luftdicht eingefasst, so dass das Quecksilber, wenn es bis zum Niveau mn steht, in beiden gleiche Capillardepressionen erleidet, daher man diese unberücksichtigt lassen kann. Die Röhre D ist offen und es wirkt der jedesmalige Luftdruck in derselben auf die Oberfläche des Quecksilbers, während in der andern Röhre das eingeschlossene Gas mit seiner Expansivkraft darauf drückt. Wenn A die Temperatur des schmelzenden dasselbe umgebenden Eises hat, stellt man mittelst der Schraube den Stempel so, dass das Quecksilber in beiden Röhren gleich hoch steht. Ertheilt man der im Behälter M eingeschlossenen Flüssigkeit eine gewisse Temperatur t^0, die an einem genauen Quecksilber-Thermometer beobachtet wird, so dehnt sich das Gas aus, drückt in C das Quecksilber herab, während es in D steigt. Um nun die Expansivkräfte vergleichen zu können, muss man die Dichte bei 0^0 herstellen, daher hebt man den Stempel F, bis das Quecksilber wieder bei m steht und das Gas das frühere Volumen erhält; dabei erhebt sich aber das Quecksilber in D bis zu einer Höhe $no = h$, bei der es um den Luftdruck bs vermehrt der Expansivkraft des Gases E bei t^0 das Gleichgewicht hält,

also $E = (b + h)\ s$; und für eine andere Temperatur t'
$E' = (b' + h')\ s$ etc.

Genaue Untersuchungen von Rudberg, Magnus und Regnault haben zu folgenden Gesetzen geführt:

1. Bei einer Erwärmung der Luft von 0^0 bis zur Siedhitze beträgt der Zuwachs an Expansivkraft $\frac{11}{30} = \frac{100}{273} = 0{\cdot}367$ von der Expansivkraft e bei 0^0; somit ist dieser Zuwachs $= \frac{11e}{30}$.

2. Die Grösse der Aenderung der Expansivkraft bei einer Temperaturänderung von 1^0 ist für alle Gase dieselbe und beträgt für

$$1^0\ C \ldots \frac{11\ e}{30{\cdot}100} = \frac{11\ e}{3000} = \frac{e}{273} = 0{\cdot}00367\ .\ e\ ,$$

daher für $t^0\ C$ der Zuwachs

$$\frac{e}{273}\ .\ t = 0{\cdot}00367\ .\ e\ .\ t = \alpha .\ et,$$

wo $\alpha = 0{\cdot}00367$ gesetzt wird; demnach ist die der Temperatur t entsprechende Expansivkraft

$$E = e + e\,\alpha t = e\,(1 + \alpha t) \ldots (1);$$

das in dieser Gleichung ausgesprochene Gesetz heisst das Gay-Lussac'sche Gesetz. — Bezieht sich e nicht auf 0^0, sondern auf eine beliebige Temperatur, so ist t die Temperaturänderung, die man unter Null negativ zu setzen hat.

3. Dieses Gesetz gilt für alle Gasarten; nur ist in neuester Zeit nachgewiesen worden, dass der Werth von α bei verschiedenen Gasarten sich **nicht ganz gleich** bleibt, so z. B. ist bei Wasserstoffgas $\alpha = 0{\cdot}0036678$ und bei Kohlensäuregas $0{\cdot}0036896$, mithin beim ersteren etwas kleiner, beim letzteren etwas grösser als bei der Luft. Und selbst bei einem und demselben Gase ändert sich der Werth von α ein wenig mit dem Drucke.

a) **Absoluten Nullpunkt** nennt man denjenigen, bei welchem die Expansivkraft des Gases Null wäre. — Für $E = o$ folgt aus

$(1) \ldots t = -\dfrac{1}{\alpha} = -273^0$ C., d. h. der absolute Nullpunkt liegt 273^0 C. unter dem Eispunkt. — Die vom absoluten Nullpunkte an gezählte Temperatur aber nennt man **absolute** Temperatur.

Bezeichnet T die absolute Temperatur, t die gewöhnliche in C., so ist $T = t + 237 = t + \dfrac{1}{\alpha}$; daraus $\alpha T = (1 + \alpha t)$, daher kann man das Gay-Lussac'sche Gesetz auch schreiben

$$E = e \,.\, \alpha T.$$

§. 6. **Das vereinigte Mariotte- und Gay-Lussac'sche Gesetz.** Hat ein Gas im Anfangszustande beim Volumen v und bei der absoluten Temperatur T die Expansivkraft p, im Endzustande beim Volumen v_1 und bei der absoluten Temperatur T_1 aber die Expansivkraft p_1, so verhält sich

$$p : p_1 = \begin{cases} v_1 : v \ \ldots \text{ nach dem Mariotte'schen Gesetze} \\ T : T_1 \ \ldots \ \text{,,} \quad \text{,, Gay-Lussac'schen ,,} \end{cases}$$

$(1) \ldots p : p_1 = v_1 T : v T_1 \ldots$ das vereinigte Gesetz.

Daher ist $\frac{pv}{T} = \frac{p_1 v_1}{T_1}$ eine constante Grösse $= R$;

also $$pv = R . T = R \left(\frac{1}{a} + t\right).$$

Nach den Versuchen von Regnault hat für atmosphärische Luft die Constante den Werth $R = 29{\cdot}27$.

Die Gl. *(1)* erhält für die gewöhnlichen am Celsius-Thermometer abgelesenen Temperaturen t und t_1 die Form

$$(2) \ldots p : p_1 = v_1 (1 + at) : v (1 + at_1) \ldots \text{d. h.?}$$

a) Kann sich das in einem Raume eingeschlossene Gas ausdehnen und ist der von aussen auf dasselbe wirkende Luftdruck p constant, so wird bei Erhöhung der Temperatur das Volumen so lange zunehmen, bis in Folge der damit abnehmenden Dichte die Expansivkraft wieder dem äussern Drucke das Gleichgewicht hält, also $p = p_1$; daher folgt aus *(2)*

$$v_1 (1 + at) = v (1 + at'),$$

mithin auch $$v_1 : v = (1 + at') : (1 + at),$$

oder $$v : v_1 = T : T_1 \ldots (3)$$

Ist $v = v^0$ das Volumen des Gases bei $t' = 0^0$ C., so ist

$$v_0 : v = 1 : (1 + at)$$

daher $$v = v_0 (1 + at) \ldots$$

oder $$v = v_0 \, aT \ldots (4),$$

d. h. bei constantem äussern Drucke wächst das Volumen mit der Temperatur in demselben Verhältnisse wie die Expansivkraft bei constantem Volumen; demnach gibt die Grösse a die Aenderung einer Volumseinheit für die Temperaturänderung von 1^0 C. und heisst daher der Ausdehnungscoëfficient des Gases.

b) Ist der äussere Druck veränderlich, und tritt die Expansivkraft mit demselben jedesmal in's Gleichgewicht, so ist $p = bs$ und $p_1 = b's$, folglich ergibt sich aus *(2)*

$$v : v_1 = \frac{1 + at}{b} : \frac{1 + at'}{b'}.$$

Bezeichnet man das Volumen v_1 eines Gases bei dem Normalbarometerstande von $b' = 760$ Millimeter (= 346·22 W. Linien) und der Temperatur t' von 0^0 C. mit v_0 und das bei t^0 C. mit v, so ist

$$v : v_0 = \frac{1 + at}{b} : \frac{1}{760},$$

und daraus folgt

$$v = \frac{760}{b} \cdot (1 + at)\, v_0 \ldots \text{ und } v_0 = \frac{b \cdot v}{760\,(1 + at)} \ldots (5).$$

Normalzustand des Gases nennt man das Volumen desselben bei Null-Grad und unter dem Normalbarometerstande von 760^{mm} (= 28 W. Z.). Die Gl. *(5)* ist die sogenannte Reductionsformel, weil sich nach derselben ein beliebiger Zustand des Gases auf seinen Normalzustand reduciren lässt.

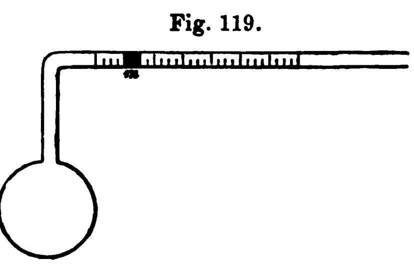
Aufgabe. Bei 100° C. und beim Barometerstand von 38 Centimeter nimmt eine Luftmasse 2·734 Kubikmeter ein, wie gross ist ihr Volum im Normalzustande?

§. 7. **Luftthermometer.** Die Thermometer beruhen auf der mit der Temperatur proportional vor sich gehenden Ausdehnung der Körper. Nun sind aber selbst bei tropfbar-flüssigen Substanzen, wie bei Quecksilber und Weingeist, noch immer anziehende Molecularkräfte thätig und modificiren die Wirkung der Wärme, bei permanenten Gasen hingegen fallen die Einflüsse der Molecularkräfte unter den gewöhnlichen Verhältnissen hinweg. Unter den gewöhnlichen Verhältnissen ist der Ausdehnungscoëfficient a nicht nur für dasselbe Gas constant, sondern auch für alle Gase fast gleich, und so erscheint bei permanenten Gasen die Aenderung des Volums oder der Expansivkraft als reine Wirkung der Wärme und ist als ein genaues Mass der Temperaturänderung zu betrach-

ten. Daher dienen sogenannte Luftthermometer, bei denen die thermometrische Substanz eine kleine, trockene Luftmasse ist, als Normalthermometer, nach denen die Richtigkeit der andern beurtheilt wird.

a) Das einfachste Luftthermometer (Fig. 119) besteht aus einer gebogenen, horizontal liegenden Röhre, an der unten eine Kugel angeblasen ist. Die in der Röhre enthaltene trockene Luft wird mittelst eines Quecksilbertropfens m, der als Zeiger an der Luftthermometer-Scala dient, abgesperrt. Da die Lage des Tropfens auch vom äussern Luftdrucke abhängt, so hat man aus der Gleichung *(5)* für die gesuchte Temperatur t ohne Rücksicht auf die Volumänderung des Gefässes

Fig. 119.



$$t = \frac{1}{\alpha}\left[\frac{b \cdot v}{760\; v_0} - 1\right],$$

oder die absolute Temperatur $T = \frac{b}{760} \cdot \frac{v}{\alpha v_0} = \frac{b}{760} \cdot \frac{273}{v_0} \cdot v;$

setzt man am Eispunkt das Gasvolum $v_0 = 273$, so hat man

$$T = \frac{b}{760} \cdot v,$$

d. h. diese Thermometerscala muss am Eispunkt 273 und von da an die entsprechenden Gasvolume anzeigen. Die Temperatur ergibt sich aus dem gleichzeitigen Ablesen des Thermometers und des Barometers.

Eine Vergleichung des Luftthermometers mit dem Quecksilberthermometer zeigt, dass sie nur bis zum Siedpunkte gleichen Schritt halten und übereinstimmen; bei höherer Temperatur dehnt sich aber das Quecksilber in einem stärkeren Verhältnisse aus als die Luft. Nach Doulong's und Petit's Versuchen zeigt das Quecksilberthermometer 100°, 150°, 200°, 250°, 300°, 360°, und das Luftthermometer 100°, 148·7°, 197·05°, 245°, 292·7°, 350°. Will man das Quecksilberthermometer auch für $t°$ über 100° C. gebrauchen, so hat man von einer Angabe die Correction

$$\delta = \frac{1}{4}(0{\cdot}09\; t + 0{\cdot}00028\; t^2)$$

abzuziehen, um ein genaues Resultat der Temperatur zu erhalten.

Fig. 120.

Ein Luftthermometer ist wegen seiner geringen Masse und der grossen Ausdehnung der Luft sehr empfindlich und gestattet das Messen sehr geringer Temperaturänderungen.

b) Das **Luftpyrometer** von **Pouillet** dient zur Messung hoher Hitzegrade. Dasselbe besteht (Fig. 120) aus einem Platingefässe C, das durch die lange und enge Platinröhre ab mit einer in gleiche Volumtheile getheilten Röhre A in Verbindung steht. Die Röhre A communicirt mit der Röhre B und ist unten mit einem Hahne M versehen. Das Gefäss C, die Röhre ab und der obere Theil von A enthalten trockene atmosphärische Luft von der Temperatur t_1 und von einer Expansivkraft p_1, die im Momente der Beobachtung das Thermometer und Barometer angibt, und vom Volumen v_1. Die Röhren A und B sind gleich hoch mit Quecksilber gefüllt; ihre Weiten sind zur Vermeidung der Fehler in Folge der Capillardepression gleich. Die Expansivkraft p_1 ist also gleich dem Luftdrucke.

Beim Erhitzen des Behälters C dehnt sich die Luft aus und drückt das Quecksilber in A nieder und treibt es in B in die Höhe, deshalb macht man den Hahn auf und lässt so viel Quecksilber abfliessen, bis es in beiden Röhren in demselben Niveau steht und wieder den Anfangsdruck p_1 erleidet. Behält das Quecksilber in A unveränderlich seine Stellung, so hat die Luft in C die zu untersuchende Temperatur t angenommen; man liest die Vermehrung ihres Volumens $v - v_1$ ab, diese Volumänderung entspricht der Temperaturänderung $t - t_1$ bei constantem Druck, daher ergibt sich aus der Gl. (4)

$$t - t_1 = \frac{v - v_1}{\alpha v_1}.$$

Bei genauen Bestimmungen muss auch auf die Ausdehnung des Platingefässes Rücksicht genommen werden. Zu bemerken wäre noch, dass wegen der bedeutenden Ausdehnung der Luft der Raum A bei sechsmal grösser sein muss als v_1, wenn man noch eine Temperatur von 1600° C. damit messen soll.

§. 8. **Einrichtung und Wirkung der Luftpumpe.** Vorrichtungen, mit denen man die Luft in einem gegebenen Raume verdichten oder verdünnen kann, nennt man im Allgemeinen

Luftpumpen. In ihrer einfachsten Form, wie sie O. v. Guerike, Bürgermeister zu Magdeburg, 1650 erfunden, besteht die Luftpumpe aus einem hohlen Cylinder C (Fig. 121), den man **Stiefel** nennt; er wird aus Metall oder Glas verfertigt und muss inwendig genau cylindrisch und sehr glatt abgeschliffen sein; in ihm lässt sich der **Kolben** oder **Stempel** c luftdicht hin und her bewegen. Vom Boden des Cylinders führt eine enge mit einem Hahne k versehene Röhre in ein luftdicht angesetztes Gefäs R, **Recipient** genannt. Gewöhnlich ist diese Röhre aufwärts gebogen und trägt eine horizontal liegende Glas- oder Metallplatte, **Teller** genannt, auf welchen der Recipient luftdicht aufgesetzt wird. Der Hahn muss eine doppelte Bohrung haben, so dass er nach Bedürfniss den Stiefel mit dem Recipienten oder mit der äussern Luft in Verbindung setzt.

Fig. 121.

a) **Verdichtung.** Wird der Hahn so gestellt, dass der Stiefel mit der Luft communicirt, und zieht man den Kolben bis ae hervor, so dringt die atmosphärische Luft von der Dichte d in den Stiefelraum $abfe$ $= V$. Wird jetzt die Verbindung mit dem Recipienten, dessen Rauminhalt R schon atmosphärische Luft von der Dichte d enthält, hergestellt und der Kolben bis auf den Boden hineingedrückt, so wird das Luftvolumen V in den Raum R hineingepresst, dadurch wird die Dichte in R vermehrt und d' werden. Bedenkt man, dass sich die Volumina **verkehrt** verhalten wie die Dichten, und dass die Luft von natürlicher Dichte d aus dem Raume $V + R$ auf den Raum R zusammengedrückt wurde, so hat man

$$d : d' = R : (R + V)$$

$$d' = d \cdot \frac{R + V}{R} = d + d \cdot \frac{V}{R} \ldots (1),$$

also ist der **Zuwachs der Dichte** im Recipienten bei jedem Kolbenzuge $= d \cdot \frac{V}{R}$, also nach n Kolbenzügen $nd \cdot \frac{V}{R}$.

b) **Verdünnung.** Will man die Luft verdünnen, so stellt man die Verbindung des Stiefels mit dem Recipienten her, während

der Kolben am Boden steht, zieht dann den Kolben bis *ae* hervor, so füllt die Luft, die früher in R die Dichte d hatte, einen Raum $R + V$ aus und hat eine kleinere Dichte δ, und zwar

$$\delta : d = R : (R + V)$$
$$\delta = \frac{dR}{R + V} \ldots (2);$$

wird jetzt die Verbindung mit der äussern Luft hergestellt, so wird beim Hineindrücken des Kolbens die Luft aus dem Stiefel hinausgetrieben. Und nun wird, wie früher, vor dem Herausziehen des Kolbens die Verbindung mit dem Recipienten hergestellt, dadurch geht die Dichte δ über in δ_1, und zwar

$$\delta_1 : \delta = R : (R + V)$$
$$\delta_1 = \frac{\delta \,.\, R}{R + V} = d\left(\frac{R}{R + V}\right)^2;$$

woraus zu ersehen ist, dass nach n Kolbenzügen die rückständige Dichte $= d\left(\frac{R}{R + V}\right)^n$ sein wird.

c) Grenze der Verdichtung und Verdünnung. Durch die Einrichtung der Luftpumpe wird aber sowohl der Verdichtung als der Verdünnung eine Grenze gesetzt. Zwischen dem Stiefelraume V und dem Hahne bleibt immer ein kleiner Raum v übrig, den wir bisher nicht berücksichtigt haben; dieser Raum v beschränkt den Grad der Verdichtung und Verdünnung, man nennt ihn den schädlichen Raum.

Erlangt nämlich bei der Verdichtung die Luft in R und folglich auch im schädlichen Raume v eine solche Dichte D, dass die Luft aus dem schädlichen Raume, ausgebreitet in dem Raume $V + v$ beim aufgezogenen Kolben, die Dichte d der äussern Luft erhält, so kann nichts mehr von der äussern Luft eintreten und die Verdichtung hat ihre Grenze erreicht. In diesem Falle ist aber

$$D : d = (V + v) : v, \quad \text{also } D = d \,.\, \frac{V + v}{v} \ldots (3).$$

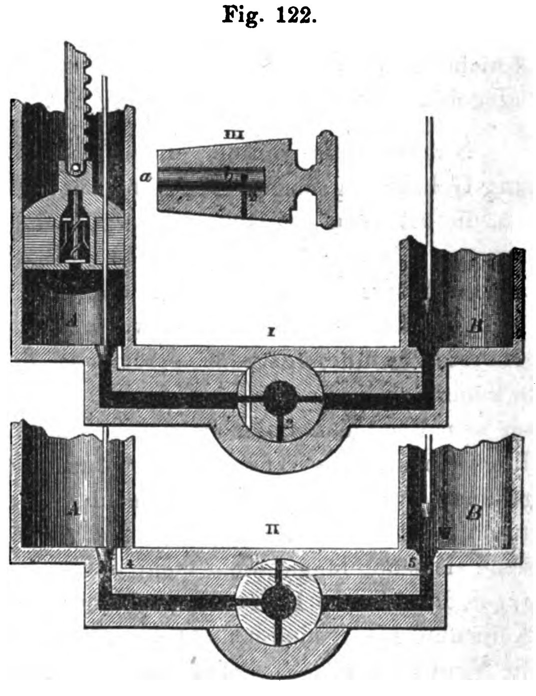
Bei der Verdünnung steht der schädliche Raum v, sobald der

Kolben herabgedrückt ist, mit der äussern Luft in Verbindung und hat ihre Dichte d. Hat nun die Verdünnung jenen Grad erreicht, bei dem die Dichte δ in R gleich ist der Dichte jener aus dem schädlichen Raume v in den Raum $V + v$ bei aufgezogenem Kolben übergegangenen Luft, so kann aus dem Recipienten nichts mehr in den Stiefelraum eintreten und die Grenze der Verdünnung ist erreicht. In diesem Falle ist aber

$$\delta : d = v : (V + v), \quad \text{also } \delta = d \cdot \frac{v}{V + v} \dots (4).$$

Die Ausdrücke (3) und (4) zeigen, dass Verdichtung wie Verdünnung wesentlich von dem Verhältnisse des schädlichen Raumes zum Stiefelraume abhängt. Durch Vergrösserung des schädlichen Raumes kann man der Verdichtung der Luft eine beliebige Grenze setzen, was bei Compressionspumpen in Anwendung kommt, um der Gefahr des Zerspringens der Gefässe durch zu stark comprimirte Luft vorzubeugen. Durch Verkleinerung des schädlichen Raumes kann man den Grad der Verdünnung erhöhen; daher sucht man den schädlichen Raum möglichst zu beseitigen und wendet mit Vortheil Ventile statt der Hähne an. Man unterscheidet darnach Ventil- und Hahn - Luftpumpen; erstere können jedoch nur zur Verdünnung oder nur zur Verdichtung dienen, je nachdem sich das den Recipienten absperrende Ventil aus- oder einwärts öffnet.

Fig. 122.



Die Ventil-Luftpumpe. Bei den heutzutage am häufigsten gebrauchten zweistiefeligen Ventil-Luftpumpen, die

zur Verdünnung dienen, wendet man oft zur Erzielung grösserer Verdünnung, als dies nach der Gleichung *(4)* sonst möglich ist, den sogenannten Babinet'schen Hahn an. Den Durchschnitt einer solchen Luftpumpe mit dem Babinet'schen Hahne stellt Fig. 122 dar.

Der Babinet'sche Hahn III hat vor Allem die zwei gewöhnlichen Bohrungen, eine längs der Axe gehende *ab*, die zum Recipienten führt, und eine mit dem Punkte *b* bezeichnete in der Richtung des Durchmessers liegende Bohrung, die, wie aus der Stellung in I zu ersehen ist, die beiden Stiefelräume mit *ab* und mit dem Recipienten in Verbindung setzt. Die zwei Stiefel *A* und *B* pumpen bei dieser gewöhnlichen Einstellung abwechselnd die Luft aus dem Recipienten und lassen sie durch die Kolbenventile entweichen, wie dies bei *A* ersichtlich ist, indem beim Herabdrücken die Communication mit dem Recipienten abgesperrt wird und die dadurch verdichtete Luft durch das gehobene Kolbenventil entweicht; das Entweichen hört jedoch auf, wenn die aus dem Stiefelraume *V* in den schädlichen Raum zusammengepresste Luft die Dichte *d* der äussern Luft erreicht, da sie jetzt das Ventil nicht mehr zu heben vermag, und es tritt die in Gleichung *(4)* angegebene Grenze der Verdünnung ein.

Nun wird erst von der eigentlichen Babinet'schen Einrichtung Gebrauch gemacht. Der Hahn hat noch zwei andere Bohrungen, die beide auf der Durchmesserbohrung senkrecht stehen, die eine, mit *2* bezeichnete, führt zu *ab* und zum Recipienten, die andere zu ihr parallele liegt in einem andern Querschnitte, so dass sie an der Durchmesserbohrung vorbeigeht. Dreht man, nachdem die erste Verdünnungsgrenze erreicht ist, den Hahn um 90° rechts, so kommt er in die Stellung II und nun pumpt nur der Stiefel *A* aus dem Recipienten, der Stiefel *B* hingegen aber pumpt aus *A* durch einen engen Canal *4, 5*, der durch jene seitliche Bohrung geöffnet wurde. Es kann jetzt noch die in *A* comprimirte Luft durch diesen Canal unter den aufgezogenen Kolben in *B* treten, wenn sie schon längst nicht mehr im Stande ist, das Kolbenventil gegen den äussern Luftdruck zu öffnen; daher kann jetzt mit jedem Kolbenhube in *A* eine neue Quantität Luft aus *R* eintreten und die Verdünnung noch weiter gesteigert werden.

Diese Verdünnung lässt sich jedoch wieder nur so lange fortsetzen, bis sie so weit gekommen ist, dass die Luft, die den ganzen Raum des Stiefels A und des engen Canales einnimmt, zusammen $= V'$, zusammengedrückt auf den schädlichen Raum v', zu dem auch der enge Canal gehört, diejenige Dichte $\delta = d \cdot \frac{v}{V + v}$ erhält, welche im Stiefel B bei aufgezogenem Kolben stattfindet; denn dann kann aus v' keine Luft nach B übergehen. Nennt man diese unbekannte Dichte x, so ist

$$x : \delta = v' : V',$$

also
$$x = \frac{\delta \cdot v'}{V'} = d \cdot \frac{v\, v'}{(V + v)\, V'}.$$

Vernachlässigt man v bezüglich V und die kleinen Unterschiede zwischen v', V' und v, V, so hat man annäherungsweise

$$x = d \cdot \frac{v^2}{V^2},$$

woraus zu ersehen ist, dass die Verdünnung fast im quadratischen Verhältnisse grösser geworden ist. — Eine 600 bis 1000fache Verdünnung ist leicht zu erreichen.

Mittelst einer zweistiefeligen Ventil-Luftpumpe kann man in der halben Zeit den nämlichen Grad der Verdünnung erreichen, als mit einer einstiefeligen; man braucht aber auch zum Bewegen der Kolben weniger Kraft als bei einstiefeligen, da bei zweistiefeligen der auf den herabgehenden Kolben wirkende Luftdruck das Aufziehen des andern Kolbens unterstützt.

Fig. 123.

a) **Barometerprobe.** Um den Grad der Verdünnung zu erkennen, dient die sogenannte **Barometerprobe**, die mit der Luft im Recipienten communicirt. Dieselbe ist ein luftleeres Manometer. Ist h die in derselben vom Drucke der verdünnten Luft gehobene Quecksilbersäule, so ist die Expansivkraft dieser Luft $E = hs$, während die Expansivkraft e der äussern Luft beim Barometerstande b durch $e = bs$ ausgedrückt wird; folglich ist

$$E : e = h : b,$$

aber es ist $\delta : d = E : e$, mithin $\delta : d = h : b$,

daraus die Dichte $$\delta = \frac{h}{b} \cdot d.$$

b) **Hand-Luftpumpe.** Eine solche ist die **Compressionspumpe** (Fig. 123), sie besteht aus einem langen cylindrischen Stiefel ab, der oben an der Seite eine

Oeffnung *o* hat, zum Eintreten der äussern Luft bestimmt, unten aber ein nach aussen sich öffnendes Ventil und darunter eine Fassung *m*, mittelst welcher sie an den Raum, worin die Luft verdichtet werden soll, angeschraubt wird.

§. 9. Die Quecksilber-Luftpumpe (Fig. 124) von Jolly oder die von Geissler gestattet die Verdünnung bis zu 0·1 Millimeter Druck zu treiben. Ein am Gestelle befestigtes Glasgefäss *A*, das etwas über einen Liter Inhalt hat und nahe 30 Pfund Quecksilber fasst, steht durch eine Glasröhre *AB* von 80 Centimeter Länge und einen Kautschukschlauch *BD* mit einem hängenden Glasgefäss *C* in Verbindung. Das Band, an welchem das Gefäss *C* hängt, läuft um eine Rolle *F*, die mit einer Kurbel gedreht werden kann. Beim Aufdrehen windet sich das Band um die Welle der Rolle und das Gefäss *C* wird gehoben.

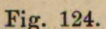
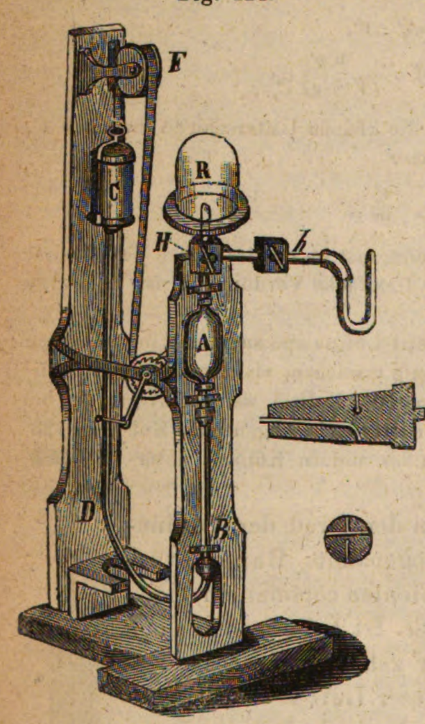


Fig. 124.



Vor dem Heben ist das Gefäss *C* mit Quecksilber gefüllt, beim Heben fliesst aber das Quecksilber in das Gefäss *A* nach dem Gesetze der Communicationsgefässe, und verdrängt aus *A* die Luft durch den Hahn *H*. Dieser horizontal liegende Hahn ist der Länge nach durchbohrt, so dass bei richtiger Einstellung etwas Quecksilber durch seine horizontale Bohrung in ein kleines Schälchen abfliessen kann. Sobald das Quecksilber beim Hahn auszutreten beginnt, ist die Luft vollständig aus *A* verdrängt, daher wird *A* abgeschlossen, indem man den Hahn um 45° nach rechts dreht. Bei weiterer Drehung bis auf 90° aber setzt eine Querbohrung des Hahnes den Raum *A* mit dem darüber befindlichen Recipienten *R* in Verbindung.

Senkt man das Gefäss *C*, so fliesst das Quecksilber aus *A* nach *C* zurück und die Luft im Recipienten dehnt sich aus, indem sie den leeren Raum *A* ausfüllt. Nun wird der Hahn *H* wieder zurückgedreht auf 45°, der Recipient wird dadurch abgeschlossen und die in *A* befindliche Luft wird beim abermaligen Heben von *C* durch die horizontale Bohrung ausgetrieben.

Durch einen zweiten Hahn *h* kann man den Raum *A* anstatt mit dem Recipienten mit Glasröhren, die man luftleer machen will, wie z. B. die Geissler'schen, in Verbindung bringen, indem man diese Röhren durch luftdicht schliessenden Kautschuk an das horizontale Rohr bei *h* ansetzt. — Auch der Hahn *h* hat eine Bohrung nach der Länge, durch die man beliebige Gase in die evacuirten Geissler'schen Röhren leiten kann.

§. 10. **Versuche mit der Luftpumpe und ihre Anwendung.** Mit der Luftpumpe wird die Grösse der Wirkung des Luftdruckes, z. B. an den Magdeburgischen Halbkugeln, gezeigt; die Existenz der Porosität, z. B. durch den Quecksilberregen, durch das Aufsteigen von Luftblasen aus tropfbaren Flüssigkeiten; ferner die Ausdehnsamkeit der Luft durch den Gebrauch der Luftpumpe selbst, oder auch durch eine nur sehr wenig Luft enthaltende Blase, die im luftverdünnten Raume anschwillt und sogar platzt; auch wird damit nachgewiesen die Richtigkeit des Torricelli'schen Versuches, denn die Quecksilbersäule fällt bei der Verdünnung der Luft; der Einfluss des Luftdruckes auf den Siedpunkt einer Flüssigkeit; der Widerstand, den die Luft der Bewegung der Körper entgegensetzt, so wie das Bestreben der Körper, gleichzeitig durch dieselbe Höhe zu fallen, d. i. die Gleichheit der Schwere etc.

Ausser diesen und andern wissenschaftlichen Untersuchungen gestattet aber die Luftpumpe auch eine technische Anwendung. Insbesondere gebraucht man sie, um die Luft in einem Raume, wo in einer Flüssigkeit Körper eingetaucht sind, zu dem Zwecke zu verdünnen, damit die in den Poren der festen Körper befindliche Luft heraustrete und das Eintreten der Flüssigkeit in die Poren ermögliche. Wird in diesen luftverdünnten Raum äussere Luft über die Flüssigkeit eingelassen, so treibt ihr Druck auf die Oberfläche die Flüssigkeit in die luftleer gemachten Poren sehr rasch ein. Dieses Verfahren wird bei der Schnellgerberei angewendet. Die zubereiteten Häute befinden sich in einer gerbestoffhaltigen Flüssigkeit, Lohflüssigkeit genannt, diese dringt in die Poren ein, imprägnirt die Häute mit Gerbestoff und verwandelt

sie in eine geschmeidige, für Wasser schwer durchdringliche, der Verwesung widerstehende Substanz: das Leder. — Auf ähnliche Weise werden die Eisenbahnschwellen mit Kupfervitriol, einer fäulnisswidrigen Substanz, imprägnirt. — In der Buchdruckerei muss vor dem Drucke das Papier angefeuchtet werden, damit nur die Oberfläche die Druckschwärze annehme und diese nicht durch die Poren des Papieres sich verbreite Das mit Hilfe einer Luftpumpe gleichmässig angefeuchtete Papier wird nur noch zwischen Walzen durchgeführt, um das überflüssige Wasser auszupressen. Ohne Luftpumpe geht das Anfeuchten langsam und nicht gleichförmig vor sich, weil die Luft in den Poren Widerstand leistet. — Auch zur Austrocknung mancher Stoffe oder zur Concentration mancher wasserhaltigen Flüssigkeiten eignet sich die Luftpumpe, indem sie die Verdunstung beschleunigt, daher sie in den chemischen Laboratorien unentbehrlich ist.

§. 11. **Bestimmung des specifischen Gewichtes und der Dichte der Gase.** Man nimmt die Dichte der atmosphärischen Luft bei 0° und bei dem Normal-Barometerstande von 760^{mm} als Einheit der Dichten der Gase und Dämpfe an.

a) Dichte der Luft bezüglich des Wassers. Um die Dichte der atmosphärischen Luft zu finden, füllt man einen Glasballon, der sich mittelst einer Fassung an den Teller der Luftpumpe anschrauben lässt und einen luftdicht schliessenden Hahn hat, mit trockener Luft, bestimmt genau das Gewicht des mit Luft gefüllten Ballons $= P$, schraubt ihn an den Teller der Luftpumpe, zieht so viel Luft heraus als möglich und merkt an der Barometerprobe den Queckeilberstand $= h$. Bringt man den Ballon auf die Wage zurück, so zeigt er ein geringeres Gewicht p, und es ist $P - p$ das Gewicht der herausgepumpten Luft. Um das Gewicht der ganzen im Recipienten enthaltenen Luft zu erhalten, nennt man q das Gewicht der noch im Recipienten zurückgebliebenen verdünnten Luft, D die anfängliche Dichte beim Barometerstande b, d die der verdünnten Luft beim Barometerstande h, so ist $D : d = b : h$; aber das Volumen ist dasselbe geblieben, folglich verhalten sich die Gewichte wie die Dichten

$$(P - p + q) : q = D : d,$$

mithin

$$(P - p + q) : q = b : h,$$

daraus $(P - p) : q = (b - h) : h$, folglich $q = (P - p) \cdot \frac{h}{b - h}$,

daher ist $\frac{(P - p)\, b}{b - h}$ das Gewicht Q der ganzen Luft des Ballons.

Bestimmt man das Gewicht Q' des Wassers, welches dieser Ballon fasst, nennt seine Dichte δ und bemerkt, dass das Volumen bei beiden Gewichten gleich ist, so hat man

$$D : \delta = Q : Q',$$

folglich die Dichte der Luft bezüglich des Wassers

$$D = \frac{Q}{Q'} \cdot \delta.$$

Beide Dichten D und δ entsprechen der Temperatur t, welche die Luft und das Wasser während der Abwägung hatten; diese Dichte D der Luft muss auf jene reducirt werden, die sie bei 0° und bei Normal-Barometerstande hat, was nach der Prop. *(2)* §. 6. leicht auszuführen ist.

Durch solche Versuche hat man gefunden, dass die Dichte des Wassers bei 4° C. nahe 773·3mal grösser ist als die Dichte der Luft bei 0° und beim Barometerstand von 760^{mm}; und zwar wiegt 1 Kubikmeter Wasser 1000 Kilogramm, 1 Kubikmeter Luft aber nur 1·29318 Kilogramm.

b) Dichte der Gase und Dämpfe bezüglich der Luft. Um die Dichten der Gase unter einander vergleichen zu können, bestimmt man dieselben für den Normalzustand, d. i. für 0° C. und für den Druck von 760^{mm}.

Füllt man denselben Ballon mit einem Gase bei gleicher Temperatur und gleichem Druck, so erhält man wie für die Luft angegeben wurde, das ganze Gewicht des Gases

$$Q_1 = \frac{(P_1 - p_1)\, b}{b - h_1};$$

und da die Volumina gleich sind, so sind die Dichten den absoluten Gewichten proportional: $D_1 : D = Q_1 : Q$, wo D_1 die Dichte des Gases ist.

Daher ist die Dichte d dieses Gases bezüglich der Luft

$$\frac{D_1}{D} = \frac{Q_1}{Q} = d.$$

Ist die Dichte d eines Gases bekannt, so findet man dessen specifisches Gewicht s aus dem specifischen Gewichte σ der Luft bei der Dichte $= 1$ aus

$$d : 1 = s : \sigma, \text{ mithin } s = d\sigma \ldots \text{ d. h.?}$$

Man fand auf diese Weise durch directe Wägung bei gleicher Spannung und Temperatur bezüglich der Luft die Dichte des Sauerstoffes $= 1 \cdot 1057$; des $N = 0 \cdot 972$, des $H = 0 \cdot 0691$, des zur Füllung von Luftballons verwendeten wohlgereinigten Leuchtgases ungefähr $= 0 \cdot 25$.

c) Die Dichte eines zusammengesetzten Gases, welches durch chemische Verbindung einfacher Gase entstanden ist, kann man berechnen, wenn man die Dichten d und d', sowie die Volumina v und v' der einfachen Gase, in welchen sie bei einer bestimmten Temperatur und Spannung in Verbindung treten, und ausserdem noch das Volumen V des zusammengesetzten Gases bei derselben Temperatur und Spannung kennt. Denn ist D die Dichte und S das specifische Gewicht des zusammengesetzten Gases, so ist nach dem Gesetze der Erhaltung der Massen

$$VS = vs + v's'$$

oder

$$VD = vd + v'd' \text{ und } D = \frac{vd + v'd'}{V} \ldots (1).$$

Oft findet man auch so die Dichte eines Bestandtheiles, z. B. d, wenn D, V, d', v' und v bekannt sind:

$$d = \frac{VD - v'd'}{v} \ldots (2).$$

Man weiss, dass sich zwei Volume H mit einem Volum O bei gleicher Temperatur und Spannung zu zwei Volumen Wasserdampf von derselben Temperatur und Spannung verbinden, daher findet man nach (1) die Dichte des Wasserdampfes

$$D = (1 \cdot 1057 + 2 \times 0 \cdot 0691) : 2 = 0 \cdot 6219.$$

§. 12. **Gesetz der Abnahme der Expansivkraft und der Dichte der Atmosphäre mit der Entfernung von der Erdoberfläche, vorausgesetzt, dass die Temperatur und die Schwere in allen Schichten gleich gross ist.** Denken wir uns eine verticale Luftsäule (Fig. 125), die sich von der Erdoberfläche bis zu einer beliebigen Höhe erstreckt, durch horizontale Ebenen in gleich hohe Schichten von so geringer Höhe getheilt, dass die Dichte einer jeden als gleichförmig angenommen werden kann, und bezeichnen den Luftdruck auf die von der Erdoberfläche an gezählten Schichten mit $P_0, P_1, P_2 \ldots P_n$, die absoluten Gewichte der Schichten $p_1, p_2, p_3 \ldots p_n$ und ihre Dichten mit $d_1, d_2, d_3 \ldots d_n$.

Da sich die Dichten der Luftschichten, also auch ihre Gewichte verhalten wie die drückenden Kräfte P, so hat man

$$P_1 : P_n = p_1 : p_n,$$

Fig. 125.

daraus

$$(P_1 + p_1) : (P_n + p_n) = P_1 : P_n$$

oder $P_0 : P_{n-} = P_1 : P_n,$

folglich ist $P_n = \frac{P_1}{P_0} \cdot P_{n-1};$

setzt man $\frac{P_0}{P_1} = K,$

so ist $P_n = \frac{P_{n-1}}{K} \ldots (1).$

Heisst h die Höhe einer Luftschichte, so ergibt sich aus der letzten Gleichung der Druck in den Höhen $h, 2h, 3h \ldots nh$, wenn man $n = 1, 2, 3 \ldots n$ setzt, also

$$P_1 = \frac{P_0}{K}, P_2 = \frac{P_1}{K} = \frac{P_0}{K^2}, P_3 = \frac{P_0}{K^3} \ldots P_n = \frac{P_0}{K^n} \ldots (2),$$

d. h. der Luftdruck, folglich auch die Expansivkraft und Dichte der atmosphärischen Luft nimmt in einer geometrischen Progression ab, wenn die zugehörigen Höhen in einer arithmetischen Progression wachsen.

Der constante Quotient $\frac{1}{K} = \frac{P_1}{P_0}$ ist aber aus der Vergleichung des Luftdruckes von irgend zwei um die Höhe h von einander entfernten Schichten zu finden, denn es ist

$$\frac{1}{K} = \frac{P_1}{P_0} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_2} = \ldots \frac{P_m}{P_{m-1}} \ldots (3).$$

Sind $b_0, b_1, b_2 \ldots b_n$ die Barometerstände, die dem Luftdrucke $P_0, P_1, P_2 \ldots P_n$ entsprechen, so ist $P_0 = b_0 s$, $P_1 = b_1 s$, $P_3 = b_3 s \ldots P_n = b_n s$, mithin folgt aus *(2)* und *(3)*

$$b_n = \frac{b_0}{K^n} \text{ und } K = \frac{b_{m-1}}{b_m} \ldots (3).$$

§. 13. **Barometrische Höhenmessung.** Aus dem Gesetze der Abnahme des Luftdruckes und des Barometerstandes mit zu-

nehmender Entfernung von der Erdoberfläche können wir den verticalen Abstand eines Ortes von dem andern mittelst der an diesen Orten gleichzeitig beobachteten Barometerstände bestimmen. Gewöhnlich wird die Höhe eines Ortes durch seinen verticalen Abstand von der Meeresfläche gemessen. Denken wir uns die Luftsäule H zwischen zwei Orten, deren Höhenunterschied H wir finden wollen, in n Schichten, jede von der geringen Höhe h getheilt, so ist $H = nh$.

Unter den Voraussetzungen der Gleichheit der Temperatur und Schwere hat man, wenn man mit b_0 den Barometerstand an dem unteren, mit b_n aber an dem oberen Orte bezeichnet,

$$K^n = \frac{b_0}{b_n},$$

mithin $$n \log K = \log . b_0 - \log . b_n$$

und $$nh = H = \frac{h}{\log K}\left(\log . b - \log . b_n\right) \ldots (1).$$

Den Factor $\frac{h}{\log K}$ kann man empiriseh finden, wenn man eine trigonometrisch gemessene Höhe H in die Gleichung (*1*) einsetzt; eine einfache Division dieser Grösse H durch den Unterschied der Logarithmen der Barometerstände an den Endstationen gibt den gesuchten constanten Factor. Dieser beträgt 56386 Pariser Fuss. Mithin ist $H = 56386\ (\log b_0 - \log . b_n)$ Pariser Fuss . . . (*2*).

Wollte man die Höhe in Wiener Fuss haben, so müsste man den Unterschied der Logarithmen mit der Zahl 57942 multipliciren. Die Barometerstände können nach beliebigem aber gleichartigem Masse ausgedrückt sein, weil die Wahl der Einheit auf $\frac{b_0}{b_n}$ keinen Einfluss hat.

Diese Formel bezieht sich auf trockene Luft von der Temperatur von 0° und enthält die Voraussetzungen, dass die Temperatur und die Schwere in der ganzen Luftsäule ungeändert bleiben, daher bedarf sie mehrerer Correctionen, und erhält dadurch folgende Gestalt:

$$H = 58152\ (1 + 0{\cdot}0026 \,.\, \cos 2\varphi) \left[1 + \frac{1}{399}(T + t)\right] (\log b_0 - \log b_n) \ldots (3).$$

Dieser Ausdruck gibt bei sorgfältig ausgeführter Beobachtung genau den in Wiener Fuss ausgedrückten verticalen Abstand zweier Orte, deren geographische Breite φ, deren gleichzeitige während der Barometerstände b_0 und b_n herrschende Lufttemperatur T und t ist.

Eine barometrische Höhenmessung hat aber unter allen Umständen einen geringeren Werth als eine sorgfältig ausgeführte trigonometrische.

§. 14. Gewichtsverlust der Körper in der Luft; Wagemanometer; Luftballon. a) Gewichtsverlust. Bezeichnet man mit V das Volumen eines Körpers, dessen Gewicht P man wissen will, und mit v das Volumen des Gegengewichtes q, welches dem Körper an der Wage das Gleichgewicht hält, und ist s das specifische Gewicht der Luft während des Abwägens, so sind nach dem Archimedischen Principe Vs und vs die Gewichtsverluste von P und q, mithin

$$P - Vs = q - vs,$$

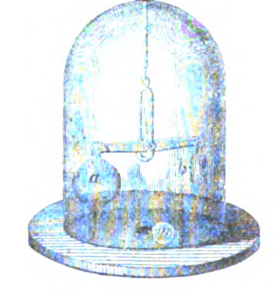
folglich

$$P = q + (V - v)\,s \ldots (1).$$

Nimmt man wie gewöhnlich $P = q$ an, so begeht man einen Fehler, der mit der Grösse $(V - v)\,s$ wächst. Je mehr also das Volumen des abzuwägenden Körpers jenes des Gegengewichtes übertrifft und je dichter die Luft, desto grösser der bei der Bestimmung gemachte Fehler. — Correction, Abwägung im luftleeren Raume.

b) Auf dem Gewichtsverluste in der Luft beruht die Construction des Wagemanometers (Dasymeter, Fig. 126), welches die Aenderungen der Dichte der Luft unmittelbar anzeigt. Dieser Apparat besteht aus einer sehr empfindlichen Wage, an deren einem Arme eine geschlossene Glaskugel vom Volumen V hängt, der ein solider Metallkörper vom Volumen v bei der Temperatur von 0^0 und dem Barometerstande von 760^{mm} dergestalt das Gleichgewicht hält, dass der Wagbalken horizontal liegt. In diesem Falle ist

Fig. 126.



$$P - Vs = q - vs = A.$$

Aendert sich aber die Dichte der Luft, so ändert sich auch ihr specifisches Gewicht z. B. um δ, und man hat auf der einen Seite $A \mp V\delta$, auf der andern $A \mp v\delta$, so zwar, dass für einen Zuwachs der Dichte

$$A - V\delta < A - v\delta,$$

und bei einer Abnahme der Dichte

$$A + V\delta > A + v\delta$$

ist; im ersten Falle wird das metallene Gegengewicht, im zweiten die Glaskugel das Uebergewicht bekommen und sinken.

Mittelst des Wagemanometers lässt sich nicht nur die jedesmalige Dichte der Luft, sondern auch der Barometerstand berechnen, wenn man die Temperatur kennt. Bringt man an dem Hebelarme, der bei der Aenderung der Dichte in die Höhe steigt, ein kleines Laufgewichtchen p an und stellt es in die Entfernung a, wobei der Wagbalken wieder die horizontale Lage annimmt, und ist b die Länge der Arme, so ist

$$(A \mp V\delta)\, b \pm ap = (A \mp v\delta)\, b,$$

daraus folgt $$\delta = \pm \frac{p \cdot a}{(V-v)\, b}.$$

Theilt mag jeden Arm des Wagbalkens z. B. in 100 gleiche Theile, so ist

$$a = \frac{n \cdot b}{100} \text{ und } \delta = \pm \frac{n}{100} \cdot \frac{p}{V-v} = K \cdot n,$$

wo K der constante Factor $\frac{p}{100\,(V-v)}$ ist.

Ist D die veränderte Dichte der Luft bei t^0 R. und bei dem Barometerstande b, so ist $D : 1 = (s + \delta) : s$, und $D = \frac{s + \delta}{s}$.

Ferner ist, nach Gleichung (5) §. 6 $b : 760 = (1 + at)\, D : 1$, auch b bekannt; folglich kann ein Barometer durch ein Wagemanometer ersetzt werden.

c) Hat ein Körper weniger Gewicht als die Luft, welche er verdrängt, so geschieht dasselbe wie im Wasser, und der Körper steigt in der Luft. Darauf beruht die Einrichtung des Luftballons. Man füllt den Ballon mit Wasserstoffgas, das über 14mal leichter ist als die atmosphärische Luft, oder auch mit Leuchtgas. Um ein zu starkes Aufblähen des Ballons bei einem niedern Luftdrucke in der Höhe zu vermeiden und das Zerspringen des Seidenstoffes, aus dem die Hülle besteht, zu verhüten, lässt man das Gas durch eine Klappe entweichen. — Die Steigkraft P eines Ballons findet man, wenn man sein Gewicht von dem Gewichte der verdrängten Luft abzieht. Ist V das Volumen des Ballons, S das specifische Gewicht der Luft, s das specifische Gewicht des Gases, womit er gefüllt ist, Q das Gewicht der Hülle, Schnüre, Gondel und der mit aufsteigenden Personen, so ist

$$P = VS - (Vs + Q) = V(S - s) - Q;$$

die Steigkraft wächst also mit dem Volumen des Ballons und dem Unterschiede der specifischen Gewichte der Luft und der Füllung, und nimmt mit dem Gewichte desselben ab. Wenn $P = o$ wird, hört er auf zu steigen. Um jedoch die Steighöhe etwas reguliren zu können, nehmen Luftschiffer Sand, Ballast mit, welchen sie auswerfen, wenn sie noch höher steigen wollen; lassen sie mehr Gas entweichen als nothwendig ist, damit die Spannkraft gleich jener der äussern Luft sei, so fällt der Ballon.

Fig. 127.

§. 15. Anwendung der Expansivkraft und des Luftdruckes.

Eine genaue Auseinandersetzung dieser Anwendung mit Berücksichtigung der Construction der Apparate gehört in die specielle Mechanik, hier mag nur einiger Apparate dem Principe nach Erwähnung geschehen.

1. Der Heronsball (Fig. 127); eine luftdicht eingelassene Röhre reicht bis nahe zum Boden des Gefässes; über dem darin befindlichen Wasser wird die Luft L am bequemsten mittelst einer Handluftpumpe verdichtet, ihre Expansivkraft $E = Hs$ überwindet jene der Atmosphäre $e = bs$ mit der Kraft $E - e = (H - b)\, s$, daher sollte ein Wasserstrahl bis zu der hydrostatischen Druckhöhe des Wassers $H - b$ hervorspringen, geht aber wegen der Hindernisse nie so hoch. Auf der Wirkung des Heronsballes beruht die Einrichtung der Feuerspritze, des Heronsbrunnens etc.

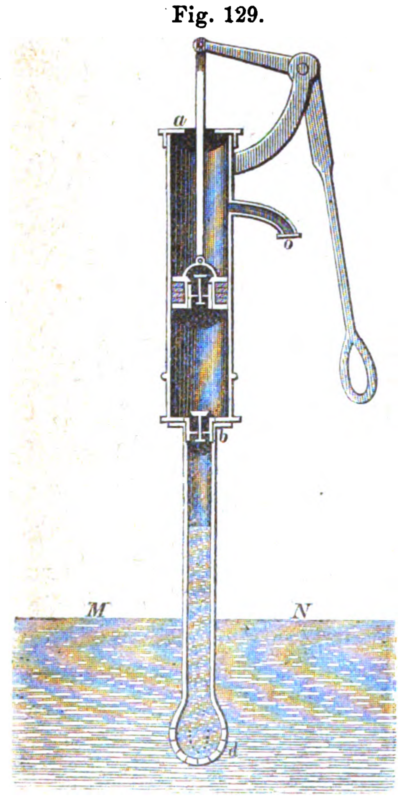
Fig. 128.

2. Der gekrümmte Heber (Fig. 128), durch den, wenn er gefüllt wird, das Wasser so lange abfliesst, bis sein Niveau unter die Mündung desselben im Gefässe oder bis zur horizontalen Ebene, in welcher die äussere Mündung a liegt, herabgesunken ist. An der freien Mündung bei a wirkt dem an beiden Mündungen gleichen Luftdrucke eine der Höhe von kl entsprechende grössere Wassersäule entgegen als im Gefässe, daher ist der Erfolg derselbe als wäre bei a der Luftdruck kleiner, und

17*

das Wasser fliesst heraus, während es der Luftdruck, so lange $kh < 31$ Fuss ist, gegen den Raum h aus dem Gefässe hebt. — Versieht man einen Sckenkel des Hebers mit einem sogenannten Saugrohr, so hat man den Giftheber.

Fig. 129.

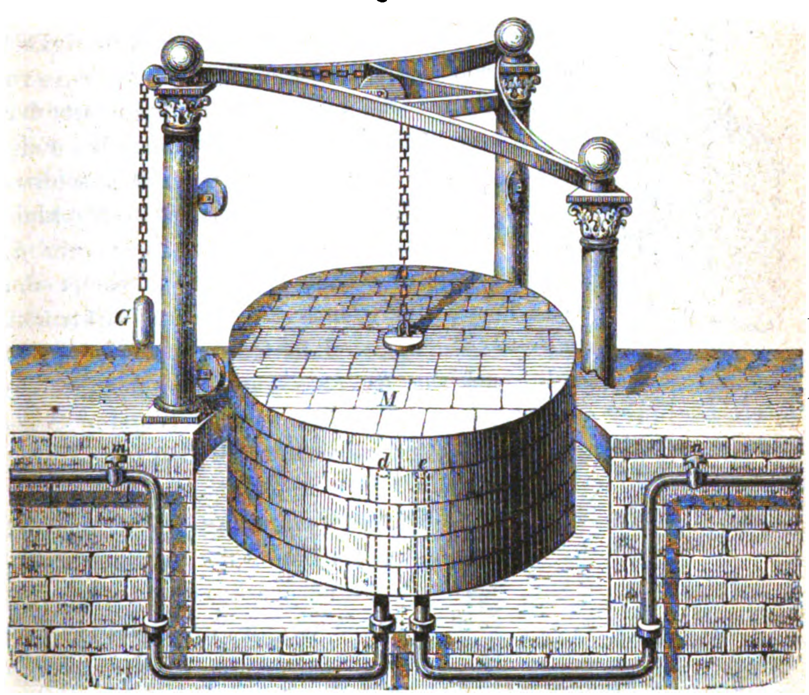


3. Die Saugpumpe (F. 129), mit der das Wasser aus den Brunnen gezogen wird, besteht aus einem in das Wasser getauchten Saugrohr *bd*, und aus dem sogenannten Stiefel *ab*, in dem sich ein Kolben luftdicht auf und ab bewegt; am Boden des Stiefels und im Kolben selbst befinden sich Ventile, die sich nach oben öffnen; am Stiefel befindet sich oben ein Ausflussrohr *o*. Wird mit der Hebelstange der Kolben aufwärts gezogen, so tritt aus dem Saugrohre durch das Ventil Luft in den Stiefel und es rückt, durch den grössern äussern Luftdruck getrieben, eine Wassersäule in dem Saugrohre so lange nach, bis sie den Druck der verminderten Expansivkraft ersetzt. Nach einigen Kolbenzügen tritt das Wasser durch das Saugventil in den Stiefel, wenn das Saugrohr die Höhe von 31 Fuss nicht überschreitet, denn bei dieser Höhe wird der Luftdruck durch die Wassersäule aufgewogen und kann das Wasser nicht höher treiben. Das in den Stiefel eingetretene Wasser dringt beim Hinabdrücken des Kolbens durch das Kolbenventil in den Raum über demselben und durch das Ausflussrohr heraus. — Ist der Kolben ohne Ventil, befindet sich aber am Stiefel eine seitwärts aufsteigende Röhre mit einem nach oben sich öffnenden Ventile, so drückt der Kolben beim Hinabbewegen das Wasser durch dasselbe und kann es so zu einer bedeutenden Höhe heben; dann nennt man die Pumpe eine Saug- und Druckpumpe.

4. Das Gasometer (Fig. 130), wie es in Gasfabriken angewendet wird, um das zur Beleuchtung bereitete Leuchtgas anzusammeln und dann durch die Röhrenleitung mit der erforderlichen Geschwindigkeit zu den Brennern zu treiben. Dieses Gasometer



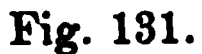
Fig. 130.

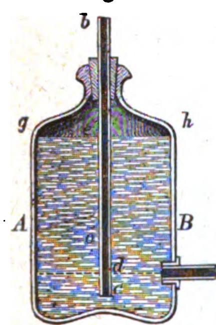


besteht aus einem grossen mit der Oeffnung nach unten gekehrten Blechcylinder *M*, der gewöhnlich in einen Behälter (mit Theerwasser) eingetaucht und vom Gewichte *G* und der Auftriebkraft getragen wird. Ueber der Wasseroberfläche münden zwei Röhren *d* und *e*, durch eine dringt das Leuchtgas in den Cylinder, und nach Absperrung derselben strömt es durch die andere in Folge des gleichmässigen Druckes vom Cylinder zu den Brennern. Der Druck des Cylinders allein nimmt mit dem Verbrauche des Gases ab, weil der Auftrieb grösser wird, da ein grösserer Theil im Wasser steht, aber es ist die Anordnung so getroffen, dass diese Abnahme durch das Gewicht der gleichzeitig herabrückenden Kette ersetzt und so die Spannkraft des Gases, folglich auch die Stärke

der **Gasströmung constant** erhalten wird. — Auch zur Aufbewahrung der Gase im Kleinen braucht man Gasometer, wie das **Pepy'sche.**

5. Die **Mariotte'sche Flasche** (Fig. 131) hat den Zweck, eine Flüssigkeit mit **constanter Geschwindigkeit** ausströmen zu lassen. Die Flasche *AB* ist bis *gh* mit Flüssigkeit gefüllt. Hat die über der Flüssigkeit befindliche Luft die Expansivkraft der äussern Luft, so steht die Flüssigkeit in und ausser der Röhre *bc* gleich hoch; strömt aber bei *a* ein Theil ab, so wird das Volumen der eingeschlossenen Luft grösser, ihre Expansivkraft *e* kleiner, das Wasser sinkt in der Röhre um *h*, bis die kleinere Expansivkraft vermehrt um den Druck der Wassersäule *h* dem Luftdrucke *bs* das Gleichgewicht hält, d. h. $bs = h\sigma + e$. *(1)* wird z. B. bei *o*. Zieht man die Röhre so viel heraus, dass die untere Oeffnung *c* nach *o* kommt, so wird beim geringsten Ausflusse *e* noch kleiner, folglich *h* grösser, daher tritt bei *o* ein wenig äussere Luft hinein und erhält die Gleichheit *(1)*. Im Niveau der Röhrenmündung bei *o* herrscht also während des Ausflusses beständig der äussere Luftdruck, daher ist die Erscheinung dieselbe, als wenn in der offenen Flasche das Wasser auf dem constanten Niveau *o* erhalten würde, daher strömt die Flüssigkeit mit der constanten Druckhöhe *od*, also mit constanter Geschwindigkeit heraus, so lange sie noch über *o* steht.


Fig. 131.



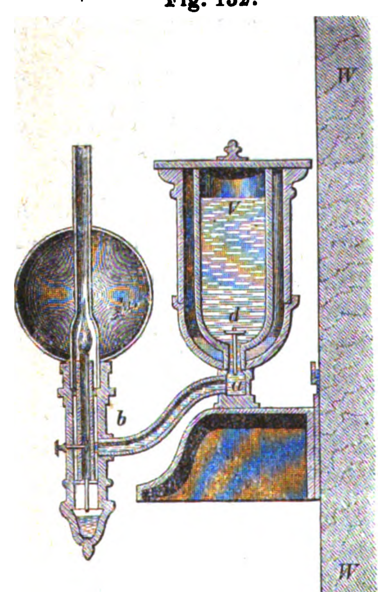


Fig. 132.

6. Eine der **gewöhnlichen Oellampen** (Fig. 132). Ein nicht ganz mit Oel gefüllter Behälter *V* wird in ein grösseres mit der zum Dochte der Lampe führenden Röhre *ab* versehenes

Gefäss umgestürzt, so dass sich sein Stäbchenventil *ad* nach oben öffnet; es tritt etwas Oel in das äussere Gefäss und durch die Communication zum brennenden Dochte, bis die dadurch verminderte Expansivkraft der innern Luft vermehrt um den Druck des Oeles dem äussern Luftdrucke das Gleichgewicht hält. So oft durch den Verbrauch das Oel bis unter die Mündung *a* sinkt, tritt neuerdings Luft ein und etwas Oel fliesst heraus.

§. 16. **Gleichgewicht gemengter Gase.** Mengen sich heterogene Gase, die nicht chemisch auf einander wirken, mit einander, so breitet sich jedes Gas im ganzen Raume aus, wie wenn es allein darin vorhanden wäre; nur geht die Verbreitung etwas langsamer vor sich. Dabei ist die Expansivkraft des Gemenges gleich der Summe der Expansivkräfte der Gemengtheile. Dieses Gesetz nennt man das Dalton'sche, es ist nur eine Folge des Mariotte'schen. Denn bringt man eine Gasmasse vom Volumen v und von der Expansivkraft e in ein leeres Gefäss vom Volumen V, so wird seine Fxpansivkraft in x übergehen:

$$x : e = v : V, \text{ daraus } x = \frac{ev}{V};$$

und für eine zweite Masse desselben Gases von v' und e' ist x'

$$x' : e' = v' : V, \text{ und } x = \frac{e'v'}{V}.$$

Werden diese beiden Massen eines und desselben Gases zugleich in das Gefäss gebracht, so ist nach dem Mariotte'schen Gesetze die Expansivkraft der ganzen Gasmasse gleich der Summe der Expansivkräfte der Theile, also

$$x + x' = E = \frac{ev + e'v'}{V} \quad \text{oder} \quad EV = ev + e'v' \ldots (1).$$

Die Erfahrung aber lehrt, dass auch für ungleichartige Gase, die nicht chemisch auf einander einwirken, die Gleichung *(1)* giltig ist.

Wenn also ein Raum zwei oder mehrere Gase enthält, welche sich chemisch nicht verbinden, so ist die Expansivkraft derselben gleich der Summe der Expansivkräfte, welche diese Gase hätten, wenn sie einzeln in diesem Raume vorhanden wären.

Aus diesem Grunde ist der Luftdruck gleich der Summe der Expansivkräfte des Sauertsoffes, Stickstoffes, der Kohlensäure und des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes.

Von der gleichförmigen Mengung der Gase überzeugt uns der Versuch. Werden zwei vertical übereinander stehende Ballons mit einem Hahn verbunden, so steigt die Kohlensäule aus dem unteren hinauf und der Wasserstoff aus dem oberen in das untere, bis sie jedes den Raum so ausfüllen, als wenn das andere gar nicht vorhanden wäre.

Das Dalton'sche Gesetz spielt in der Natur eine sehr wichtige Rolle; ihm zufolge breiten sich die freien Gase in der Atmosphäre gleichförmig aus und bleiben nie lange an dem Orte der Entstehung. So würde die durch Verbrennungs-, Athmungs- und Gährungsprocesse entstandene Kohlensäure ihrem specifischen Gewichte nach nur den untersten Raum der Atmosphäre, und zwar am Orte der Erzeugung einnehmen und das thierische Leben gefährden, wenn sie nicht dem Dalton'schen Gesetze Folge leisten würde. Das für das Pflanzenleben nothwendige specifisch leichtere Ammoniakgas würde nur in grosse Höhen steigen und sich den Pflanzen ganz entziehen. An grossen Versammlungsorten, wie in Theatern, Concertsälen, Kirchen etc., würde der zum Athmen nothwendige Sauerstoff bald verzehrt werden und man müsste ersticken, wenn nicht Sauerstoff fortwährend zum Ersatze einströmte und die ausgeathmete Kohlensäure sich entfernte. Nur an Orten, wo das Gas nicht so schnell in die Atmosphäre übergehen kann, als es sich entwickelt, ist eine grössere gefährliche Anhäufung möglich, wie die Kohlensäure in Kellern während der Gährung der Weine, dann in Höhlen, Brunnen etc.

§. 17. **Absorption und Diffusion der Gase.** Unter Absorption begreift man die Aufnahme eines Gases in die Poren eines festen oder flüssigen Körpers: unter Diffusion versteht man die gleichförmige Mengung der Gase überhaupt, im engeren Sinne aber die Mengung zweier durch eine poröse Scheidewand getrennten Gase.

1. In Eolge der gegenseitigen Anziehung wird je nach der materiellen Beschaffenheit das Gas mit einer stärkern oder schwächern Kraft in die Poren eines Körpers aufgenommen und verdichtet sich unter Wärmeentwicklung daselbst. Stark poröse oder gepulverte Körper bieten schon in kleinen Massen dem Gase viele Berührungspunkte dar und sind zur Absorption am geeignetsten. So absorbirt ein Kubikzoll frisch ausgeglühter Holzkohle 90 Kubikzoll Ammoniakgas, 35 Kubikzoll kohlensaures Gas, 9¼ Kubikzoll Sauerstoffgas etc. Aehnlich verhalten sich tropfbar-flüssige

Körper; ein Kubikzoll reines Wasser von 15° C. nimmt 780 Kubikzoll Ammoniakgas auf, aber nur 1 Kubikzoll kohlensaures, 0·03 Kubikzoll Sauerstoff und nur 0·015 Stickstoff. Bei der Absorption oder Lösung der atmosphärischen Luft im Wasser wird Sauerstoff in viel stärkerem Grade absorbirt, daher ist die absorbirte Luft sauerstoffreicher und enthält an 34 Procent Sauerstoff etc.

Man kann auch durch künstliche Mittel die Absorption erhöhen, und zwar durch Vermehrung der Expansivkraft des freien (äussern Drucks) und durch Verminderung jener des absorbirten Gases. (Abkühlung des Absorbenten.)

So werden moussirende Getränke noch im Gährungszustande in Flaschen luftdicht eingeschlossen, damit sich das kohlensaure Gas, das sich bei der Nachgährung entwickelt, über der Flüssigkeit sehr verdichtet und in grossen Massen absorbirt wird, was man noch durch Abkühlung der Flüssigkeit erhöht. Wird der Stöpsel einer Champagner- oder Bouteillen-Bierflasche gelüftet, so fliegt er mit einem Knalle heraus und die absorbirte Kohlensäure entweicht und bewirkt das Moussiren.

2. Die Diffusion geht der Endosmose analog vor sich, und zwar nach Graham's Gesetz so, dass die in derselben Zeit durch die poröse Scheidewand oder durch irgend eine Trennungsfläche durchgehenden Gasvolume den Quadratwurzeln ihrer Dichten umgekehrt proportionirt sind. — Die Mengung der Kohlensäure und des Wasserstoffes im obigen Versuche (§. 16) geht auch nach diesem Gesetze vor sich, daher der Wasserstoff als das leichtere Gas sich viel schneller ausbreitet.

a) Das Verhalten der Gase und Dünste gegen andere Körper, die sie umgeben. Gasförmige Stoffe, zu denen wir auch die Wasserdünste zählen wollen, kommen vermöge ihres Bestrebens, sich allseits immer weiter auszudehnen, mit den Molecülen eines Körpers, den sie umgeben, nicht nur an dessen Oberfläche, sondern auch in den Poren und in den zwischen den Molecülen bestehenden Zwischenräumen, wohin sie eindringen, in so innige Berührung, dass die Anziehungskräfte, welche die ungleichartigen Theilchen gegenseitig zu äussern vermögen, wirksam werden und die Spannkraft des Gases schwächen, wo dann zur Herstellung des Gleichgewichts eine neue Menge desselben Gases von aussen so lange zuströmt, bis durch Vermehrung der Dichte die Spannkraft um so viel verstärkt wird, um wie viel sie in Folge der wirksam gewordenen Anziehung geschwächt worden ist. Da die Porenoberfläche von einem Kubikzoll eines porösen Körpers sehr gross ist, z. B. bei der Buchsbaumkohle wenigstens 100 Quadratfuss beträgt, so wird die grosse

Gasmenge, die solche Körper zu absorbiren vermögen, begreiflich. Die Wärmeentwicklung, die bei der Aufsaugung der Gase eintritt, ist eine Folge der Verdichtung, die sie erfahren.

Wasserdünste der Atmosphäre, die nahe dem Maximum ihrer Spannkraft sich befinden, können in Folge der Verdichtung, die kraft der Anziehung schon an der Oberfläche mancher Körper eintritt, tropfbar werden.

In feuchter Luft wird thoniger Boden so nass, als wenn man ihn mit Wasser übergossen hätte; ebenso Kochsalz, insbesondere wenn es mit Chlorcalcium verunreinigt ist. Haare saugen in feuchter Luft Wasser ein, werden dadurch länger und kräuseln sich weniger. — Die Wände eines Glasgefässes, in welchem Wasser siedet, äussern gegen die Wasserdämpfe, die mit ihnen in Berührung kommen, eine starke Anziehung, weshalb diese erst durch Erhöhung ihrer Temperatur eine stärkere Spannkraft erlangen müssen, um diese Adhäsion zu überwinden und an die Oberfläche zu gelangen, wo sie deshalb ein stärkeres Aufwallen veranlassen als in der Mitte.

Die Atome eines Gasgemenges, dessen Bestandtheile sich mit einander chemisch zu verbinden vermögen, können in Folge der Verdichtung, welche das Gemenge an der Oberfläche und in den Poren mancher Körper erfährt, einander so sehr genähert werden, dass sie wirklich in eine chemische Verbindung treten; diese wird durch die Wärme befördert, die bei der Verdichtung der Gase sich jedesmal entwickelt.

Sorgfältig gereinigte Platten von Platin, Gold, Palladium, die in Knallgas gebracht werden, bewirken, dass die Bestandtheile desselben sich allmälig mit einander zu Wasser verbinden; dies geschieht viel rascher, wenn diese Körper in fein zertheiltem, porösem Zustande sich befinden, wie z. B. der Platinschwamm, der mehr wie 800mal von dem Volumen seiner Poren an Sauerstoffgas absorbirt, und daher eine so rasche Verbindung des Wasserstoffes mit dem Sauerstoffe bewirkt, dass er dabei glühend wird und das brennbare Gas entzündet. Leitet man ein Gemenge von O und NH_3 über heissen Platinschwamm, so verbrennt das Ammoniakgas, und es entsteht Wasser und Salpetersäure.

b) Moser'sche Bilder. Aus dem Gesagten ist auch zu ersehen, dass jeden Körper eine verdichtete Gasschichte umgibt, von der man ihn durch Wärme, oft nur durch Glühen befreien kann. Diese Gasschichte ist nicht selten die Ursache, dass der Körper ganz anders als im reinen Zustande auf andere mit ihm in Berührung kommende Gase und Dämpfe einwirkt. Stellt man, wie Moser fand, ein Siegel von Stahl auf eine frisch gereinigte Glasplatte, hebt es dann nach einer Stunde auf und behaucht die Platte, so kommt das ganze Bild zum Vorschein, und noch deutlicher auf einer reinen Silberplatte, wenn man sie nach Hinwegnahme des Siegels der Einwirkung von Quecksilberdämpfen aussetzt. Diese Erscheinungen sind nicht zu sehen, wenn man Platte und Siegel sorgfältig gereinigt hat; sie entstehen dadurch, dass die verdichtete Gasschichte von den erhabenen Stellen des Siegels, das nicht gereinigt worden ist, zu den unterhalb liegenden der reinen Platte übergeht, was an

denjenigen, welche den vertieften Stellen gegenüber liegen, nicht stattfindet, weshalb diese die Wasser- und Quecksilberdämpfe in anderer Weise verdichten, als die bereits mit einer Gasschichte überzogenen.

c) **Absorptionscoëfficient.** Wenn das in die Poren eines Körpers eingedrungene und daselbst verdichtete Gas mit keinem Bestandtheile des Körpers eine chemische Verbindung eingeht und auch seinen Aggregationszustand nicht ändert, so ist, wie zuerst Henry bewiesen und später Bunsen bestätigt hat, die absorbirte Menge, unter übrigens gleichen Umständen, dem Drucke, mit welchem das äussere gleichnamige Gas auf das absorbirte am Ende der Absorption einwirkt, direct proportional.

Wenn man die Gasmenge angibt, die ein Körper absorbirt, so versteht man stets dasjenige Volumen, welches das Gas bei dem Drucke von 760^{mm} Quecksilber und der Temperatur von 0° C. annehmen würde. Die grösste von einer Volumseinheit des Absorbenten unter dem Drucke des äussern Gases von 760^{mm} bei irgend einer Temperatur aufgenommene Gasmenge nennt man nach Bunsen den Absorptionscoëfficienten dieses Absorbenten für die Temperatur t; heisst dieser Coëfficient α und v die Anzahl der Volumseinheiten des Absorbenten, so ist $v\alpha$ die grösste Gasmenge, die dieser bei t^{0} C. aufzunehmen vermag. Die Untersuchungen lehren, dass der Coëfficient α verschiedenartiger Körper bezüglich desselben Gases verschieden gross ist, und auch bei demselben Körper in Bezug auf verschiedene Gase verschiedene Werthe hat. Je grösser der Absorptionscoëfficient, desto grössere Dichte erhält das absorbirte Gas durch die anziehenden Kräfte des Absorbenten; daher ist dieser Coëfficient als das Maass der Anziehung zu betrachten, mit welcher die Theilchen des Gases und des Absorbenten auf einander einwirken.

Nach Bunsen's Untersuchungen hat der Absorptions-Coëfficient des Wassers bei 0° folgende Werthe: bezüglich der atmosphärischen Luft 0·02471, Stickstoff 0·020346, Sauerstoffgas 0·04114, Kohlensäure 1·7967.

Wird ein Körper, in dessen Poren sich irgend ein Gas von der Spannkraft p befindet, in einen Raum gebracht, der mit dem nämlichen Gase von der Spannkraft P erfüllt ist, so wird, falls $P > p$ ist, eine dem Unterschiede $P - p$ entsprechende Gasmenge in den Absorbenten eintreten. Ist $P = p$, so findet keine Absorption statt; ist aber $P < p$, so tritt ein Theil des absorbirten Gases heraus, und zwar desto mehr, je bedeutender $P - p$ ist. Diese Erscheinungen beweisen, dass die Absorption von der chemischen Verbindung wesentlich verschieden ist.

Da sich ein Gas in einem ihm dargebotenen Raume gleichförmig verbreitet, selbst dann, wenn bereits ein anderes Gas vorhanden wäre, so muss in dem Falle, wo ein Körper, der ein gewisses Gas absorbirt enthält, in einen Raum, in welchem dieses Gas sich nicht vorfindet, gelangt, das absorbirte Gas heraustreten, und ein Theil in diesem Raume befindlichen Gases von dem Körper absorbirt werden.

Wird der Stöpsel einer Champagnerflasche gelockert, so wirft ihn die Spannkraft der unter ihm befindlichen verdichteten Schichte von kohlensau-

rem Gase heraus, worauf dieses Gas diffundirt, und auch das absorbirte nach und nach heraustritt, so, als wäre der Raum über der Flüssigkeit vollkommen leer.

d) Bei der Respiration gelangt die atmosphärische Luft in die zahlreichen Luftzellen der Lunge, deren Wandungen von höchst feinen Blutgefässen durchzogen sind, und der Luft eine beträchtlich grosse Contactfläche darbieten; die Luft kommt nun durch das Wasser, welches die feinen Wandungen durchdringt, in unmittelbare Berührung mit dem Blute, worauf die Kohlensäure durch Diffusion aus dem Venenblute heraustritt, und ein Theil des Sauerstoffes der eingeathmeten atmosphärischen Luft vom Blute aufgenommen wird.

Ist beim Athmen die Menge des kohlensauren Gases in den Lungenzellen sehr gering, so kann die Ausscheidung dieses Gases aus dem venösen Blute gehörig vor sich gehen, und an dessen Stelle der eingeathmete Sauerstoff vom Blute anfgenommen werden. Athmet der Mensch in einer Atmosphäre, die viel kohlensaures Gas enthält, so kommt dieses auch in die Lungenzellen, und hindert nun das Austreten desselben Gases aus dem Blute, damit aber auch die nothwendige Sauerstoffabsorption; schon ein Procent CO_2 in der Luft verursacht ein Uebelbefinden, eine grössere Menge kann Athembeschwerden und Erstickung herbeiführen; hieraus wird die Nothwendigkeit der Ventilation in Räumen, wo viele Menschen sich befinden, oder viele Lichter brennen, sowie auch die Schädlichkeit von Schlafzimmern begreiflich, in welchen Pflanzen stehen, die zur Nachtzeit Sauerstoff absorbiren und Kohlensäure aushauchen.

Die atmosphärische Luft, die wir einathmen, wird auf ihrem Wege in die Lungenzellen erwärmt, und fähig eine grössere Menge von den Wasserdünsten, die sich an den Wandungen der Zellen bilden, aufzunehmen, was jedoch nicht mehr möglich wird, wenn diese Luft bei einer hohen Temperatur mit Dünsten gesättigt ist; diese Unterbrechung der Ausscheidung des Wassers aus dem Blute kann eine Krankheit zur Folge haben.

Ist ein Absorbent von einem Gasgemenge umgeben, so nimmt er, abgesehen von der Temperatur, ein jedes Gas des Gemenges in der Menge auf, die seinem Absorptionsvermögen für dieses Gas und dem Drucke, den dasselbe für sich allein auf ihn am Ende der Absorption auszuüben vermag, direct proportional ist, was jedoch nur dann richtig ist, wenn das Gas, welches ein Körper absorbirt, das Absorptionsvermögen für ein zweites Gas nicht verändert.

Wasser absorbirt die einzelnen Gase der atmosphärischen Luft genau in der nämlichen Menge, wie jedes für sich unter dem Drucke, den es nach vollendeter Absorption ausübt, aufgenommen worden wäre; daher ist der Gehalt des Wassers an Sauerstoff grösser als in der atmosphärischen Luft. Wird das in den Poren des Wassers befindliche Sauerstoffgas durch den Athmungsprocess der Thiere verbraucht, so tritt sogleich eine der verbrauchten gleiche Menge aus der atmosphärischen Luft ein, wodurch das Leben dieser

Thiere fortdauernd unterhalten wird; man pflegt deshalb im Winter die Eisdecke, womit die Fischteiche überzogen erscheinen, an mehreren Stellen aufzuhacken, um ungehinderten Luftwechsel im Wasser möglich zu machen und den Fischen den nöthigen Sauerstoff zu verschaffen.

e) Bei grossem Absorptionsvermögen des Absorbenten und starkem Drucke von Seite des äussern Gases, insbesondere wenn das Innere des Absorbenten keinen hinreichend grossen Raum zur Ausbreitung darbietet, kann die Dichte des absorbirten Gasgemenges so gross werden, dass, wenn auch keine chemische Verbindung eintritt, doch zwischen den ungleichartigen Gastheilchen anziehende Kräfte wirksam werden, welche die Spannkraft der absorbirten Gasmengen vermindert und dadurch das Zuströmen einer neuen Gasmenge von aussen veranlassen. So fand Roscoe, als er Versuche mit Gemengen aus Chlor-Wasserstoff- und Kohlensäuregas vornahm, dass das Wasser stets eine grössere Menge von Chlorgas aufnahm, als die Rechnung für die obwaltenden Umstände ergab, und dass der Ueberschuss sich nach dem beigemengten Gase richtete.

Die Dichte der nicht permanenten Gase kann bekanntlich nur bis zu einem gewissen, von der Beschaffenheit des Gases abhängigen Maximum gesteigert werden; wird dieses überschritten, so werden sie tropfbar; daher kommt es, dass wenn die Dichte, welche ein solches Gas in einem Absorbenten bei der vorhandenen Temperatur am Ende der Absorption erhalten sollte, das ihm zukommende Maximum überschreitet, der Theil des von aussen zuströmenden Gases, welcher dieses Ueberschreiten bewirkt, tropfbar-flüssig wird, daher nicht mehr die Spannkraft der absorbirten Gasmenge vermehrt; wird durch die entstandene tropfbare Flüssigkeit der Absorptions-Coëfficient nicht bedeutend oder gar nicht geändert, und bleibt der äussere Druck constant, so strömt fortwährend neues Gas in den Absorbenten ein, wo es sogleich tropfbar wird. Die im Absorbenten sich ansammelnde Flüssigkeit wird bei fortdauernder Absorption und gleichmässiger Vertheilung zwischen die Molecüle immer mehr sich drängen und diese von einander treiben, so dass bei vielen Körpern ein Moment eintreten kann, wo sie aufhören ein zusammenhängendes Ganze zu bilden, indem sie in der aufgenommenen Flüssigkeit aufgelöst erscheinen, oder falls sie flüssig sind, sich mit ihr gleichförmig mischen.

Kann das Gas einen Körper nicht gleichförmig durchdringen, sondern nur bestimmte grössere Räume, die eigentlichen Poren, ausfüllen, so erfolgt nur hier das Ueberschreiten des Maximums der Dichte, mithin ein Tropfbarwerden des Gases und dann ein Zerfallen des Körpers, wie wir es häufig bei jenen festen Körpern finden, die fähig sind, Wasserdämpfe in grosser Menge zu absorbiren.

Gewöhnlich wird der Absorptions-Coëfficient durch die im Absorbenten entstandene tropfbare Flüssigkeit vermindert; so fand Saussure, dass befeuchtete Kohle viel weniger Gas zu absorbiren vermag als im trockenen Zustande. Ist das aufgenommene Gas im Absorbenten theils in tropfbarer, theils in ausdehnsamer Form enthalten, so entweicht nur das letztere, wenn Um-

stände eintreten, unter denen es nach den allgemeinen Gesetzen der Absorption entweichen sollte, z. B. bei Verminderung des äussern Druckes. So lässt Wasser, das mit Ammoniak- oder Chlorwasserstoffgas gesättigt ist, diese Gase in der freien Atmosphäre nur zum Theil fahren, und verdampft dann als Mischung von Wasser und flüssigem Ammoniak oder Salzsäure.

f) Wenn die Flüssigkeit Bestandtheile enthält, welche auf das absorbirte Gas eine chemische Anziehung äussern, so wird das Absorptionsvermögen der Flüssigkeit für dieses Gas gesteigert. Setzt man z. B. dem Wasser 1 Procent phosphorsaures Natron zu, so nimmt es doppelt so viel kohlensaures Gas auf, als das reine Wasser unter denselben Umständen aufgenommen haben würde, damit ist aber die Wirkung der chemischen Anziehung beendet, so dass nun die Zunahme der absorbirten Gasmenge beim gesteigerten Drucke genau so vor sich geht, wie beim reinen Wasser.

Nach Magnus nehmen 1000 Volume Blut 100 bis 130 Volume Sauerstoffgas auf, während reines Wasser davon nur 9.25 Volume absorbirt; es ist nach Liebig sehr wahrscheinlich, dass nur ein Theil des beim Athmen aufgenommenen Sauerstoffs absorbirt enthalten ist, ein gewisses Quantum aber in eine, obwohl nur sehr schwache chemische Verbindung mit gewissen Blutbestandtheilen tritt; letzteres Quantum ist eine constante Grösse und bis zu einer gewissen Grenze unabhängig von dem äussern Drucke; denn nur daraus lässt sich begreifen, dass, wie die Versuche von Regnault und Reiset lehren, Thiere in einer Luft, die zwei- bis dreimal mehr Sauerstoff enthielt als die atmosphärische, keine Beschwerde fühlten, und die Respirationsprodukte von derselben Beschaffenheit und in der nämlichen Menge vorhanden waren, wie beim Einathmen von gewöhnlicher Luft. Wäre die Menge des vom Blute beim Athmen aufgenommenen Sauerstoffes nur von dem äussern Drucke abhängig, so müsste die Aenderung desselben bei den Bewohnern der Hochebenen in Centralamerika 12,000 Fuss über der Meeresfläche, wo die in einem Volumen befindliche Sauerstoffmenge nur $^2/_3$ von der beträgt, die man am Ufer des Meeres in einem gleichen Volumen findet, einen wesentlichen Einfluss auf die Lebensfunktionen äussern, der nicht hätte unbemerkt bleiben können.

Der Absorptions-Coëfficient ändert sich mit der Temperatur nach einem bis jetzt unbekannten Gesetze; wir wissen nur im Allgemeinen, dass er kleiner erscheint, wenn die Temperatur des Absorbenten erhöhet wird.

So ist nach Bunsen der Absorptions-Coëfficient des Wassers bei 15° C. für atmosphärische Luft = 0·01795, für N = 0·01478, für O = 0·02989 und für CO_2 = 1·0020.

B. Statik der Dünste und Dämpfe.

§. 18. **Verdunstung und ihre Ursache.** Den Uebergang eines festen oder tropfbar-flüssigen Körpers in einen ausdehnsamen nennt man Verdunstung oder Verdampfung, und den so entstandenen ausdehnsamen Körper Dunst oder Dampf. — Den Grund der Verdunstung einer Flüssigkeit haben wir schon in der an ihrer Oberfläche überwiegenden Abstossungskraft der Theilchen erkannt.

§. 19. **Gesetze der Dunstbildung.** Man hat besonders die Gesetze der Bildung der Wasserdämpfe aus der Erfahrung zu ermitteln gesucht, da diese sowohl in der Natur als im technischen Leben eine so grosse Rolle spielen.

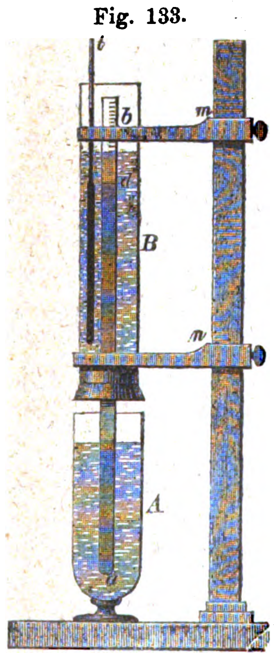
1. Die Verdunstung geht am raschesten im luftleeren Raume vor sich; in der Luft nimmt sie mit der Temperatur desto mehr zu, je trockener diese ist. Die Verdunstung wird geringer, wenn die Spannkraft der über der Flüssigkeit befindlichen Dünste zunimmt; sie wird begünstiget durch Fortführung der Dünste, durch Verminderung des äusseren Druckes und durch Temperaturerhöhung.

2. Verdampft eine Flüssigkeit in einem geschlossenen Gefässe, so übt der Dampf selbst einen Druck auf die Flüssigkeit, so dass endlich der Dunstgehalt nicht mehr steigt. Man überzeugt sich durch Versuche, dass in einem geschlossenen Raume bei einer bestimmten Temperatur ein gewisses Maximum der Dunstmenge und der Spannung nicht überschritten werden kann; ist dieses Maximum der Dunstmenge erreicht, so heisst man den Dampf gesättiget.

a) Bestimmung des Maximums der Spannkraft. Das Maximum der Spannkraft wird aus Versuchen ermittelt, so z. B. für Temperaturen zwischen 0° und 80° R. mittelst des Dalton'schen Apparates (Fig. 133). In die Barometerröhre *ab*, die in das Gefäss *A* eingetaucht ist, bringt man über das Quecksilber eine 2 bis 3 Linien hohe Wassersäule. Um dieses Wasser bei verschiedenen Temperaturen verdunsten zu lassen, umgibt man die

Barometerröhre mit einer weitern Glasröhre B. In diese Röhre B bringt man siedend heisses Wasser, welches man langsam von 80° bis 0° R. abkühlen lässt, dadurch erhält auch das Wasser in der Barometerröhre dieselben Temperaturen, die an einem im äussern Wasser befindlichen genauen Thermometer abgelesen werden.

Fig. 133.



Man beobachtet bei bestimmten Temperaturen den Quecksilberstand und den gleichzeitigen Luftdruck bs, der dem Drucke der gehobenen Quecksilbersäule h, vermehrt um die unbekannte Spannkraft e des Dunstes, das Gleichgewicht hält; also ist jedesmal

$$bs = hs + e, \quad \text{daher } e = (b - h)\, s,$$

d. h. man findet das Maximum der Spannkraft für eine bestimmte Temperatur, wenn man den Unterschied (der auf 0° reducirten Höhen) der Quecksilbersäulen in freier Luft und im Apparate mit dem specifischen Gewichte des Quecksilbers multiplicirt.

Damit man aber sicher ist, dass die Dünste wirklich ein der beobachteten Temperatur entsprechendes Maximum der Spannkraft haben, muss immer noch etwas Wasser über dem Quecksilber stehen. Man überzeugt sich, dass bei jeder Abkühlung die Dünste wieder tropfbar flüssig werden, indem die Wassersäule dabei zunimmt. Daraus folgt, dass der Dampf im Maximum der Spannkraft für die stattfindende Temperatur als gesättigt zu betrachten ist.

Durch ähnliche der Temperatur angepasste Apparate hat man analog die Maxima der Spannkräfte für Temperaturen unter 0° und über 80° R. ermittelt und die Resultate so in eigene Tabellen eingetragen, dass neben der fraglichen Temperatur das ihr zukommende Maximum der Spannkraft steht und man nur eine bestimmte Temperatur nachzuschlagen hat, um das Maximum zu finden.

Das Maximum der Spannkraft der Dünste nimmt in einem stärkern Verhältnisse zu, als die Erhöhung der Temperatur, weil die Spannkraft nicht nur in Folge der Temperaturerhöhung, son-

dern auch deswegen wächst, weil bei höherer Temperatur die Sättigung erst bei einer grössern Dunstmenge eintritt und die Dichte der Dünste dabei zunimmt.

So hat der Wasserdampf bei

0^0 , 20^0, 50^0, 70^0, 100^0, 121^0, 134^0, 144^0, 152^0

die Spannung

$4{\cdot}6^{mm}$, 17.39, 92, 233, 760, 2×760, 3×760, 4×760, 5×760.

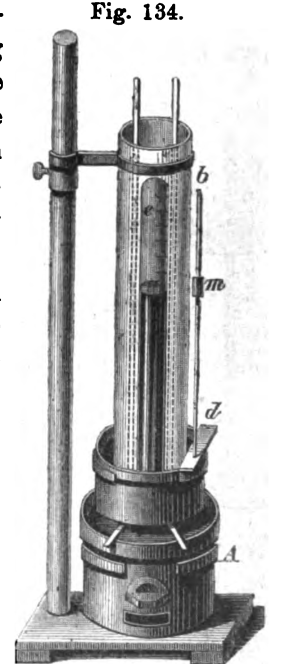
Die Spannkraft der Dünste verschiedener Flüssigkeiten ist bei gleicher Temperatur ungleich; beim Sieden hält sie jedoch stets dem Barometerdrucke das Gleichgewicht, daher Flüssigkeiten, die erst bei hohen Temperaturen sieden, wie Schwefelsäure und Quecksilber, bei gewöhnlicher Luftwärme eine fast unmerkliche Spannkraft ihrer Dünste besitzen.

3. Haben die Dünste nicht das der vorhandenen Temperatur entsprechende Maximum, so ändert sich ihre Spannkraft bei einer Aenderung der Temperatur oder Dichte, so lange sie dem Condensationspunkte nicht zu nahe gebracht werden, annäherungsweise nach dem Mariotte- und Gay-Lussac'schen Gesetze.

Ueberhitzter Wasserdampf, der vom Wasser abgesperrt noch weiter erwärmt wird, befolgt das Gesetz der Gase.

4. Die Erfahrung lehrt, dass das Dalton'sche Gesetz auch für die Dunstbildung giltig ist, indem das Verhalten der Dünste in einem mit Luft oder einem andern Gase gefüllten Raume dasselbe ist, wie wenn kein Gas darin wäre, mit dem einzigen Unterschiede, dass die Bildung und Verbreitung derselben langsamer vor sich geht.

Fig. 134.



Da die Dunstbildung desto langsamer vor sich geht, je mehr die Sättigungsgrenze heran rückt, so muss an Orten, wo Gegenstände getrocknet werden, der die mit Dünsten schon nahe gesättigte Luft hinweg führt und so eine neue Dunstbildung begünstigt werden.

§. 20. **Bestimmung der Dichte der Dünste.** a) Die von Gay-Lussac angegebene Methode besteht darin, dass man die zu verdunstende Flüssigkeit in ein feines Glaskügelchen bringt, dieses zuschmilzt, das Gewicht P dieser Flüssigkeit bestimmt, und

es in einem mit Quecksilber ganz gefüllten Recipienten e (Fig. 134) aufsteigen lässt. Der mit einem Wärmebade umgebene Recipient wird so weit erhitzt, dass die sich ausdehnende Flüssigkeit die feine Glashülle zersprengt und sich ganz in Dunst verwandelt. Dadurch wird das Quecksilber so weit herabgedrückt, bis sein hydrostatischer Druck, vermehrt um die Spannkraft der Dünste, dem äussern Luftdrucke das Gleichgewicht hält.

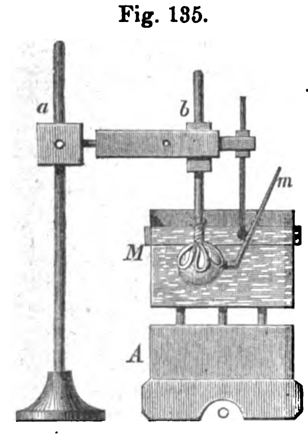
Die Temperatur t liest man an einem eingetauchten Thermometer, das Volum V des Dunstes an der Volumscala des Recipienten ab. Bezeichnet man mit S das specifische Gewicht und mit D die Dichte des Dunstes vom Gewichte P, so ist $P = VS$. — Ist nun v das Volumen eines gleichen Gewichtes P Luft vom specifischen Gewichte s und die Dichte d bei gleicher Temperatur und gleichem Druck, so ist auch $P = vs$;

daher $$V : v = s : S \quad \text{oder} \quad D : d = v : V$$

also $$D = \frac{v}{V} d, \text{ und } S = \frac{P}{V} \text{ oder } = \frac{v}{V} s.$$

So bestimmte man die Dichte des Wasserdampfes bei 100° C. $D = 0{\cdot}6225$.

Fig. 135.



b) Häufig bedient man sich des Verfahrens von Dumas. Man gibt in eine Glaskugel, die mit einer feinen Spitze versehen ist, eine kleine Menge der zu verdunstenden Flüssigkeit, taucht die Kugel mittelst eines passenden Trägers (Fig. 135) in ein Wärmebad. Die entweichenden Dünste treiben die Luft aus und füllen endlich allein mit einer Expansivkraft e gleich dem äusseren Luftdrucke $e = bs$ die Kugel aus, wo dann die Spitze zugeschmolzen wird. Mit einer Quecksilberfüllung ermittelt man das Volum V der Kugel und ihr Gewicht, wo dann das Gewicht P der darin eingeschlossenen Dämpfe, so wie das der früher darin enthaltenen Luft Q leicht an einer genauen Wage bestimmt wird.

Dann hat man für das specifische Gewicht S und für die Dichte D die Ausdrücke

$$S = \frac{P}{V} \text{ und } D = \frac{P}{Q}.$$

§. 21. **Absoluter und relativer Dunstgehalt; Uebergang der Wasserdünste in der Atmosphäre in den tropfbaren Zustand.** a) Dunstgehalt. Die in einer Volumeinheit atmosphärischer Luft vorkommende Menge von Wasserdunst wird absoluter Dunstgehalt genannt. Das Verhältniss des absoluten Dunstgehaltes zu dem bei der herrschenden Temperatur grösstmöglichen Dunstgehalte heisst man den relativen Dunstgehalt oder den Feuchtigkeitsgrad.

Bezeichnet man mit q den absoluten Dunstgehalt in der Volumeinheit, mit Q aber das der herrschenden Temperatur entsprechende Maximum des Dunstgehaltes in derselben Volumeinheit, so wird der Feuchtigkeitszustand F ausgedrückt durch

$$F = \frac{q}{Q} \ldots (1),$$

für die Volumeneinheit verhalten sich aber die Gewichte q und Q, wie die Dichten d und D der Dünste, und diese wie ihre Expansivkräfte, vorausgesetzt, dass das Mariotte'sche Gesetz giltig sei, daher hat man auch

$$\frac{q}{Q} = \frac{d}{D} = \frac{e}{E} = F \ldots (2),$$

d. h. man findet den Feuchtigkeitsgrad F, wenn man die wirkliche Spannkraft oder Dichte der im Raume vorkommenden Dünste dividirt durch das der herrschenden Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft oder der Dichte.

Der Feuchtigkeitsgrad kann demnach höchstens gleich *1* werden; man erhält also lauter echte Brüche, die man jedoch dadurch beseitigt, dass man das Maximum des Feuchtigkeitsgrades $= 100$ setzt und schreibt

$$F = 100 \cdot \frac{e}{E},$$

woraus man erfährt, wie viel Procente von derjenigen Feuchtigkeit vorhanden sind, welche die Luft aufzunehmen vermag.

Da ein Wiener Kubikfuss Luft bei 0° und $b = 760^{mm} = 346.2169$ Wiener Linien 564 Gran wiegt, so ist das Gewicht x eines Wiener Kubikfusses Wasserdampf unter denselben Umständen gegeben durch $x : 564 = 0.6225 : 1$, also $x = 349.68$ Gran; daher für jede Linie Barometerstand das Dunstgewicht $349\cdot68 : 346\cdot2169 = 1\cdot01$ Gran; also bei der Spannung von e W. Linien der Dunstgehalt gleich $1\cdot01\, e$ Gran, vorausgesetzt, dass das Mariotte'sche Gesetz noch darauf angewendet werden darf. — Bei der Temperatur von t^0 aber wird das Volumen $(1 + at)$ mal grösser, folglich das Gewicht der Volumseinheit ebenso vielmal kleiner, d. i.

$$\frac{1\cdot01 \,.\, e}{1 + at} = \frac{1\cdot01\, e}{1 + \frac{11}{2400} \,.\, t} = \frac{1\cdot01\, e}{1 + 0\cdot004583\, t}.$$

Dieser Ausdruck, für den man auch $1\cdot01\,(1 - 0\cdot004583\, t)\, e$ setzen kann, gibt das Gewicht des in einem W. Kubikfuss enthaltenen Wasserdunstes bei seiner Spannkraft von e W. Linien und bei t^0 in Gran an.

Bezeichnen wir den nach der Formel aus der wirklich vorhandenen Spannkraft e berechneten Dunstgehalt mit q, und mit Q das Maximum des bei der herrschenden Temperatur t^0 möglichen Dunstgehaltes und mit E das Maximum der Spannkraft, so hat man für den Feuchtigkeitsgrad

$$\frac{q}{Q} = \frac{1\cdot01\,(1 - 0\cdot004583\, t)\; e}{1\cdot01\,(1 - 0\cdot004583\, t)\; E} = \frac{e}{E};$$

b) Niederschlag. Hat die Luft in einem Raume das Maximum des Feuchtigkeitsgrades erreicht, so erscheint sie mit Wasserdunst gesättigt; wird sie dann zusammengedrückt, oder nimmt die Temperatur schnell ab, so wird ein Theil der Dünste wieder verdichtet; es bildet sich ein sogenannter Niederschlag.

Das Maximum der $e = E$ der in der Luft vorkommenden Dünste kann herbeigeführt werden: 1. durch das Hinzutreten einer neuen Dunstmenge; 2. durch Erniedrigung der Temperatur. Die durch Abkühlung verminderte Spannkraft wird durch das Zuströmen der Dünste aus der Nachbarschaft ersetzt, daher erhält sich die Spannkraft derselben bis zu der Temperatur, für welche diese Spannkraft ein Maximum ist, unverändert; 3. durch Verstärkung des auf die Dünste einwirkenden Druckes; 4. durch Mengung fast gesättigter Luftmassen.

von ungleichen Feuchtigkeits- und Wärmegraden, denn weil die Dichte schneller wächst als die Temperatur, so entspricht dem Mittelwerthe der Temperatur nicht der Mittelwerth der Dichte, sondern eine kleinere Dichte.

Hieraus erklärt sich die Bildung der Niederschläge: des Thaues an festen Körpern, der Wolken, der Nebel und des Regens; in Nebeln und Wolken schwebt der Niederschlag noch als Wassertröpfchen in der Luft, die durch weitere Condensation und gegenseitiges Ineinanderfliessen sich vergrössern, den Auftrieb der Luft überwinden und als Regen, Hagel oder Schnee niederfallen.

Die Aenderung des Feuchtigkeitsgrades in der Luft kann an sogenannten hygroscopischen Körpern beobachtet werden, die ein sehr grosses Absorptionsvermögen für Dünste besitzen. Solche Körper sind: Wolle, Haare, Fischbein, Federkiele, Darmsaiten etc. Indem hygroscopische Körper die Dünste nach Maassgabe ihrer Spannkraft absorbiren und condensiren, ändert sich ihr Gewicht und Volumen, und aus der Volumänderung kann man durch Versuche auf den Feuchtigkeitsgrad zurückschliessen, doch nur annäherungsweise, da sich durch längern Gebrauch die hygroscopische Kraft ändert. Am brauchbarsten ist noch Saussure's Haarhygrometer.

§. 22. **Hygrometrie.** Die Hygrometrie lehrt eine genaue Bestimmung des absoluten Dunstgehaltes und des Feuchtigkeitsgrades. Jedes Instrument, das zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgrades dient, wird ein Hygrometer genannt. Da man den Feuchtigkeitsgrad aus dem Quotienten $\frac{q}{Q}$ oder $\frac{e}{E}$ findet, und die Werthe für Q und E für die einzelnen Temperaturgrade bereits ermittelt und in Tabellen eingetragen sind, so hat man nur nöthig die in der Volumseinheit wirklich vorkommende Gewichtsmenge q des Dunstes oder seine Spannkraft e zu bestimmen, um den Feuchtigkeitsgrad zu erfahren.

Hygrometer, die zur Messung der absoluten Spannkraft e dienen. Es gibt zwei Arten dieser Hygrometer, die einen geben den Thaupunkt, d. i. jene Temperatur an, bis zu der die Luft abgekühlt werden muss, damit die Spannkraft e ihrer Dünste als ein Maximum erscheine; die andern bestimmen die Temperatur, welche das Wasser im Momente der Verdunstung besitzt, diese Temperatur nennt man die Nasskälte oder auch Verdunstungstemperatur.

1. Condensations- oder Thaupunkts-Hygrometer von Körner und Regnault.

Fig. 136.

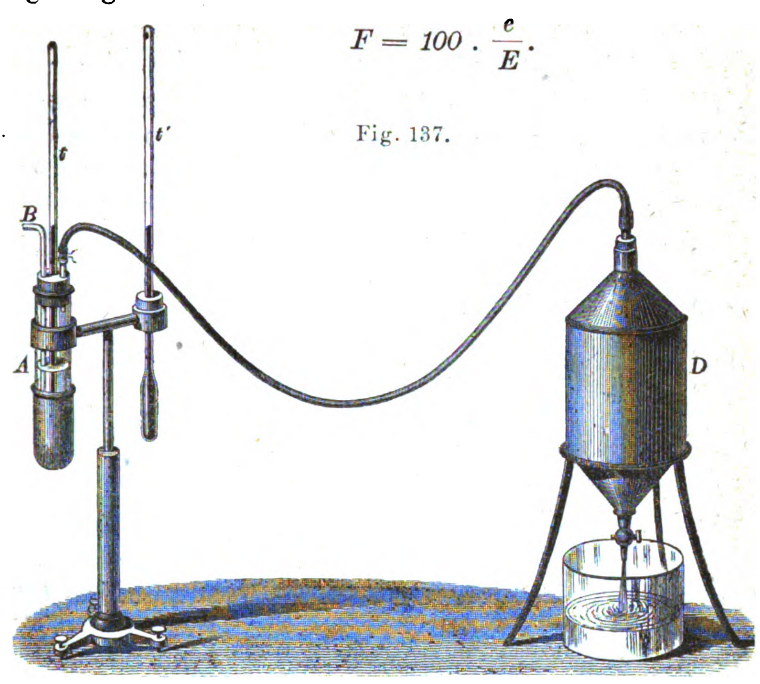
Zur Bestimmung des **Thaupunktes** bedient man sich am bequemsten des **Hygrometers** von **Körner** (Fig. 136); es besteht aus einem gewöhnlichen Thermometer, dessen Kugel aufwärts gerichtet, mit Mousselin umwickelt, und an der untern Hälfte mit einem dicht anliegenden, dünnen vergoldeten Silberschälchen umgeben ist. Befeuchtet man die Mousselinhülle mit Schwefeläther, so entzieht dieser durch seine rasche Verdunstung der Kugel mehr Wärme, als sie von der Umgebung in derselben Zeit erhalten kann, daher sinkt die Temperatur des Quecksilbers und des Schälchens, und es tritt eine Temperatur ein, bei der sich am Schälchen der Thau anzusetzen beginnt. In diesem Momente gibt das Thermometer die Temperatur t an, für welche die Spannung der in der Atmosphäre vorhandenen Dünste ein Maximum wäre. Wird diese Temperatur t in den Tabellen nachgeschlagen, so erfährt man das ihr entsprechende Maximum der Spannkraft, folglich die wirkliche Spannkraft e der Dünste in der Luft, indem, wie gesagt wurde, die Spannkraft ungeachtet der Abkühlung sich unverändert erhält.

Da der verdunstende Aether niemals wasserfrei ist, so wird der Wasserdunst dadurch vermehrt, und auch durch die Nähe des Beobachters wird der Wassergehalt und die Temperatur der Luft verändert; daher hat **Regnault** dem Hygrometer (Fig. 137) die Einrichtung gegeben, dass das Thermometer in ein cylindrisches versilbertes Gefäss A mit sehr dünnen Wänden, welches den Schwefeläther enthält, eingetaucht ist; mittelst einer Handpumpe oder wie in der Figur mittelst eines Aspirators D wird die Luft über dem Aether verdünnt, während durch eine tief im Aether mündende Röhre B Luft von aussen eindringt, den Aether gleichförmig mischt und die Verdunstung beschleunigt. Die Bethauungstemperatur beobachtet man aus der Ferne mittelst eines Fernrohrs an dem im Schwefeläther eingetauchten Thermometer t, die Lufttemperatur aber an dem freien Thermometer t'. — In den Tabellen findet man für die beobachteten Temperaturen t und t'

die Maxima der Spannkräfte e und E, und hat sodann den Feuchtigkeitsgrund

$$F = 100 \cdot \frac{e}{E}.$$

Fig. 137.



2. Psychrometer von August. Hygrometer zur Bestimmung der Nasskälte werden Psychrometer genannt. Am gebräuchlichsten ist August's Psychrometer (Fig. 138). Er besteht aus zwei neben einnander aufgestellten sehr empfindlichen Thermometern, welche gewöhnlich zu 0·1° C. ablesen lassen; die Kugel des einen ist mit Mousselin umhüllt und es reichen einige Fäden in ein mit Wasser gefülltes Schälchen, damit das Wasser durch Capillarität zu der Hülle emporsteige und verdunste. Anfänglich sinkt das angefeuchtete Thermometer, weil ihm Wärme entzogen wird, endlich hört es auf zu sinken, d. h. es bekommt so viel Wärme von der Umgebung, als in derselben Zeit zur Verdunstung nothwendig ist. Hier hört die Vermehrung des Dunstes auf und diese stationäre Temperatur des verdunstenden Wassers ist die Nasskälte t', sie wird am nassen Thermometer abgelesen. — Die Nasskälte ist bei derselben Temperatur der Luft offenbar niedriger, wenn die Luft weniger Dünste enthält, mithin die Verdunstung rascher vor sich geht, daher kann man von der Nasskälte auf die Spannkraft der Dünste schliessen. Die Wärmemenge W, die dem Thermometer in jeder Secunde entzogen wird, ist offenbar desto grösser, je grösser die in dieser Zeit gebildete Dunstmenge Q ist, daher ist $W = \mu \cdot Q$. Aber Q ist wieder desto grösser, je grösser der Unterschied der Spannkraft E der sich bei

t' bildenden Dünste und der **wirklichen** gesuchten Spannkraft e der in der Luft vorhandenen Dünste ist; also $Q = \varsigma\,(E - e)$, wo E als das Maximum der Spannkraft der bei der Nasskälte t' sich bildenden Dünste in den Tabellen nachgeschlagen werden kann. Da ferner W wegen des stationären Standes gleich ist der Wärmemenge, welche die nasse Kugel in derselben Zeit von der Umgebung erhält, und die Untersuchungen lehren, dass letztere dem Unterschiede der Temperatur t der Luft (aus trockenem Thermometer) und jener des nassen Thermometers, so wie dem Barometerstande b direct proportional, also $W = \lambda\,(t - t')\,b$ ist, so folgt aus $W = \mu\varsigma\,(E - e)$ die Gleichung

$$\mu\varsigma\,(E - e) = \lambda\,(t - t')\,b,$$

mithin

$$e = E - \frac{\lambda}{\mu\varsigma}\,b\,(t - t') \ldots (1).$$

Bezeichnet man den constanten Factor $\frac{\lambda}{\mu\varsigma}$ mit A und die **psychrometrische** Differenz $t - t'$ mit δ, so hat man

$$e = E - A\,.\,b\delta;$$

Fig. 138.

A wurde durch Versuche für δ^0 R. ermittelt $= 0{\cdot}001$, so lange das befeuchtete Thermometer über 0^0 R. steht und $A = 0{\cdot}00094$, wenn die Temperatur unter 0^0 gesunken ist.

Der Psychrometer erfordert, wenn er an freier Luft aufgestellt und angefeuchtet ist, eine einfache Ablesung und das Nachschlagen von psychrometrischen Tabellen, z. B. von Stierlin.



§. 23. Einfluss der Verdunstung auf die Bewegung der Flüssigkeiten im Organismus.

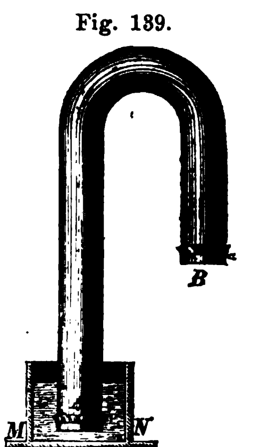
Aus **Liebig's** scharfsinnigen Untersuchungen geht es hervor, dass Flüssigkeiten, die mit einer verdunstenden Membrane in Verbindung stehen, eine Bewegung nach dieser Membrane erhalten. Die Schnelligkeit dieser Bewegung nimmt mit der Raschheit der Verdunstung zu. Wird eine mit Wasser gefüllte an den Enden mit Blasen überbundene Röhre AB (Fig. 139) mit dem einen Ende in eine Salzlösung MN getaucht, während das Ende B der Verdunstung an der Luft ausgesetzt bleibt, so unterstützt die Kraft, welche die Flüssigkeit zur Bewegung gegen die verdunstende Oberfläche anregt, das Aufsaugungsvermögen der Blase für die Salzlösung derart, dass die Salzlösung in der eingetauchten Röhre steigt; man überzeugt



sich davon, wenn man die Salzlösung mit Indigotinctur blau färbt.

Das Gesetz der Endosmose, nach welchem sich die durch poröse Scheidewände getrennten Flüssigkeiten entsprechend der Dicke und dem Absorptionsvermögen der Scheidewände vertheilen sollten, erscheint durch den Vorgang der Verdunstung wesentlich geändert. Denn in Folge der Endosmose sollte die Mischung der Salzlösung und des in der Röhre befindlichen Wassers derart vor sich gehen, dass mehr Wasser bei *A* austritt als Salzlösung eintritt, allein der obige Versuch zeigt deutlich die durch Verdunstung geschehene Abänderung des Gesetzes der Endosmose.

Fig. 139.



Es wirkt somit das Aufsaugungsvermögen der einen Blase *B*, während das in ihren Poren befindliche Wasser verdunstet, wie ein mechanischer Druck, welcher gross genug ist, um Flüssigkeiten der verschiedensten Art durch dünnere Membranen, welche damit in Verbindung stehen, durchfliessen zu machen.

Man kann allgemein sagen, dass alle Flüssigkeiten, die mit einer verdünstenden Haut unter einem Drucke, der dem äussern Luftdrucke gleich ist, in Verbindung stehen, eine Bewegung nach dieser Haut erhalten; die Schnelligkeit dieser Bewegung richtet sich nach der Raschheit der Verdunstung.

Bringt man in die Mitte der Blase *B* einen Tropfen Wasser, so wird dieser, während um ihn herum die Verdunstung fortdauert, durch den Druck der äussern Luft eingetrieben. Wird z. B. eine Stelle der Haut des Menschen mit Fett eingerieben, so muss dieses eingesaugt werden; wäre das Fett an der ganzen Oberfläche der Haut, so wird es in Folge der Verdunstung der Lunge eingesaugt. Das Aufsaugen der Regentropfen, des Thaues durch die Blätter der Bäume erfolgt durch den Druck der Atmosphäre, während an andern Stellen die Verdunstung vor sich geht.

Die vorstehenden von Liebig ausgeführten Versuche verbreiteten viel Licht über die Bewegung der Säfte im Organismus der Thiere und der Pflanzen. Der wichtige Einfluss der Hautausdünstung beim thierischen Organismus

und der Verdunstung an der Oberfläche der Lunge auf den Stoffwechsel und auf den Gesundheitszustand war seit lange bekannt, aber man wusste nicht, in welcher Art diese Verdunstung wirkt. Auf der Haut vieler Thiere geht, wenn sie mit der Atmosphäre in Berührung ist, die Verdunstung beständig vor sich; ebenso auch an der Oberfläche der Lunge, da nun jeder Theil der Oberfläche unter dem Luftdrucke steht, dem die in Körpern vorhandenen luftförmigen und tropfbaren Flüssigkeiten einen gleichen Gegendruck entgegensetzen, so muss, sobald die Verdunstung an der Haut und an der Lunge stattfindet, in Folge des Aufsaugungsvermögens der Haut für die sie berührende Flüssigkeit eine Bewegung der im Körper befindlichen Flüssigkeiten nach der Haut und Lunge entstehen, die durch die Blutbewegung beschleunigt wird. Die verschiedenartigen Flüssigkeiten im Thierkörper sollten sich nach dem Gesetze der Endósmose vertheilen, entsprechend der Dicke und dem Absorptionsvermögen der Membranen für die mit ihnen in Berührung stehenden Flüssigkeiten; allein dieses Gesetz wird wesentlich durch die Verdunstung geändert. Aus dem Gesagten ist auch der grosse Einfluss ersichtlich, den der Aufenthalt in einer trockenen oder in feuchter Luft, auf grossen Höhen und am Ufer des Meeres auf den Gesundheitszustand haben muss. — Die Unterdrückung der Hautausdünstung an einem Orte der Haut erzeugt eine Störung in der Bewegung der Säfte, wodurch der normale Process an diesem Orte geändert wird. — Bei einer grossen Trockenheit geht die Verdunstung rasch vor sich, die Flüssigkeiten werden schnell gegen die Haut getrieben, weshalb sich öfters ein Aufschwellen der Haut oder ein Aufspringen derselben einstellt. Die Neger an der Ostküste von Afrika pflegen, wenn ein dort öfters eintretender ungemein trockener Wind zu wehen beginnt, ihre Haut mit Fett zu überziehen, um das Aufspringen derselben zu verhüten, weshalb dieser Wind Talgwind oder Harmattan genannt wird.

Bei dem Austreten des Schweisses sind wohl mehrere Ursachen wirksam, aber eine davon ist die Geschwindigkeit, mit der sich die Flüssigkeit gegen die Haut in Bewegung setzt, und zwar in Folge der Verdunstung oder einer durch eine mechanische Ursache gesteigerten Blutbewegung. Bei dieser schnellen Bewegung tritt die Flüssigkeit in Folge ihrer Trägheit über die Grenze der aufsaugenden Haut.

Wie sehr der vitale Process in Folge der Verdunstung an der Oberfläche des thierischen Körpers und der dadurch erzeugten Aenderung in der Vertheilung der Flüssigkeiten im Organismus abgeändert werden kann, sieht man sehr auffallend an Fischen, die in wenigen Stunden sterben, wenn entweder nur der Kopf ausserhalb des Wassers und der übrige Theil im Wasser, oder wenn Kopf und Kiemen im Wasser und der übrige Theil ausserhalb gehalten wird, ohne dass dabei das Thier am Gewichte einen Verlust erleidet, d. h. wenn auch durch Einsaugung von Wasser durch den eingetauchten Körpertheil das Gewicht ungeändert bleibt, so ist doch die Vertheilung der Flüssigkeiten in Folge der Verdunstung an dem aus dem Wasser hervorragenden Körpertheil ganz anders, als es zum Bestehen der vitalen

Functionen nothwendig ist. — Die durch niedere Temperatur oder grossen Feuchtigkeitszustand gehemmte Ausdünstung an der Oberfläche unseres Körpers ist die vorzüglichste Ursache der im Frühjahre und Herbste öfters vorkommenden und unter dem Namen Grippe bekannten Krankheit.

Die Menge der aufgesaugten und zur Entwickelung der Pflanze nöthigen Nahrung steht im Verhältnisse zu der Menge der in einer gegebenen Zeit verdunsteten Feuchtigkeit. Die Pflanze erkrankt oder stirbt, wenn das richtige Verhältniss der Ausdünstung und der Zufuhr gestört oder unterbrochen wird. Hat die Pflanze ein Maximum der Nahrung aufgenommen, und die Ausdünstung wird unterdrückt, z. B. durch niedrige Temperatur oder grossen Feuchtigkeitszustand der Luft, so hört das Zuströmen der Nahrung auf, die Säfte stocken, verderben und gehen in einen Zustand über, in welchem sie ein fruchtbarer Boden für Pilze und dergleichen mikroskopische Gewächse werden, deren Samen immer in der Luft gegenwärtig ist. Wenn z. B. nach heissen Tagen viel Regen fällt und hierauf eine starke Hitze ohne Wind sich einstellt, so erscheint jeder Theil der Pflanze mit Luft umgeben, die mit Dünsten gesättigt ist, weshalb die Verdunstung aufhört, und mit ihr auch die nothwendige Abkühlung der Pflanze, so dass die Pflanze dem sogenannten Sonnenbrande unterliegt oder mit Schimmel befallen wird, dem die gestockten und verdorbenen Säfte eine vortreffliche Nahrung darbieten. Letztere Krankheit tritt bei Hopfenpflanzen öfters ein, weil ihr dichtes Blätterwerk die bei feuchtem Wetter ohnehin schwache Verdunstung noch mehr hemmt. Auch die Kartoffelpflanze gehört wie die Hopfenpflanze zu den Gewächsen, welche durch Stockung der Säfte in Folge einer unterdrückten Ausdünstung am meisten leiden.

Beim Umsetzen der Bäume pflegt man beinahe die Hälfte der Wurzeln abzuschneiden; der Baum kann dann nur halb so viel Nahrung aus der Erde einsaugen als früher, weshalb auch die verdunstende Oberfläche ausserhalb der Erde im gleichen Verhältnisse verkleinert werden muss.

Wenn man einen Baum von beträchtlicher Höhe fällt, und das Stammende in eine Salzauflösung taucht, während das Laub noch an den Zweigen ist, so erfolgt in Folge der Verdunstung an der Oberfläche eine lebhafte Aufsaugung der Flüssigkeit, so dass diese in die zartesten Kanäle des Pflanzenorganismus dringt, zu den entferntesten Enden und selbst bis in seine letzten Blätter gelangt. Darauf beruht die von Boucherie erfundene Methode, in die Holzmasse Substanzen, wie holzessigsaures Eisenoxyd, Seesalz und andere Salze einzuführen, um das Holz unzerstörbar zu machen.

§. 24. **Dampfmaschine.** Die in's praktische Leben am meisten eingreifende Anwendung der Spannkraft des Wasserdampfes finden wir an der Dampfmaschine. Jede Maschine, die unmittelbar durch die Spannkraft des Dampfes bewegt wird, heisst Dampfmaschine. — Um die Theile, sowie die Wirkung einer Dampfmaschine leichter zu übersehen, ist in der Figur 140

die stationäre **Watt'sche** Dampfmaschine im Durchschnitte dargestellt. — **Watt** untersuchte nach der Anleitung des Prof. **Black** zu Edinburgh die Kraft des Dampfes mit dem Papinschen Digestor und construirte hernach im J. 1763 ein Modell seiner Dampfmaschine. — Das Wasser wird in dem sogenannten **Dampfkessel** *K*, bestehend aus starkem Eisen- oder Kupferbleche und mit zwei Sicherheitsventilen v und v_1 versehen, durch eine passend angebrachte Feuerung in Dampf verwandelt; der Dampf wird in den **Dampfcylinder** *C* mittelst eines sogenannten **Schieberventils** *ss* entweder über den im Cylinder luftdicht beweglichen Kolben oder unter denselben eingelassen, wie dies an der Doppelzeichnung *I* und *II* ersichtlich gemacht werden soll. Der im Dampfcylinder bewegliche Kolben ist mit einer cylindrischen Eisenstange, Kolbenstange genannt, und diese mit dem Balancier durch das **Watt'sche** Parallelogramm so verbunden, dass sie bei der Bewegung des Kolbens in der Axe des Cylinders bleibt.

Die von dem Dampfe unmittelbar hervorgebrachte auf- und niedergehende Bewegung der Kolbenstange wird durch den Balancier und die Pleuelstange *F* mittelst der Kurbel *G* dem Schwungrade *S* mitgetheilt und so in eine rotirende Bewegung verwandelt, die sich den übrigen Maschinentheilen mittheilt. Die Bewegung des Schieberventils *ss*, das man Steuerung nennt, in dem Schiebkasten *pp* wird durch die Maschine selbst mittelst der an der Radaxe festgemachten excentrischen Scheibe *J* und des Schubrechens *L* dadurch bewerkstelligt, dass der Schubrechen in einen um *c* drehbaren Winkelhebel eingreift und mit diesem die Position *I* und *II* herstellt. Auch der Zufluss des Dampfes zum Cylinder regulirt sich selbst mittelst des sogenannten Centrifugal-Regulators *R*, der vom Schwungrade in Rotation versetzt mittelst eines Hebelwerkes *B* dem Ventile *d* die nöthige Stellung gibt.

Der aus dem Dampfcylinder austretende abgenützte Dampf geht entweder in die äussere Atmosphäre über, oder er tritt in einen Behälter *E*, **Condensator** genannt, wo er durch eingespritztes kaltes Wasser condensirt wird. Die Kaltwasserpumpe *X* umgibt den Condensator mit kaltem Wasser und spritzt es durch eine Brause hinein, die Luftpumpe *M* entfernt wieder das warm gewordene Wasser und befördert es durch geeignete

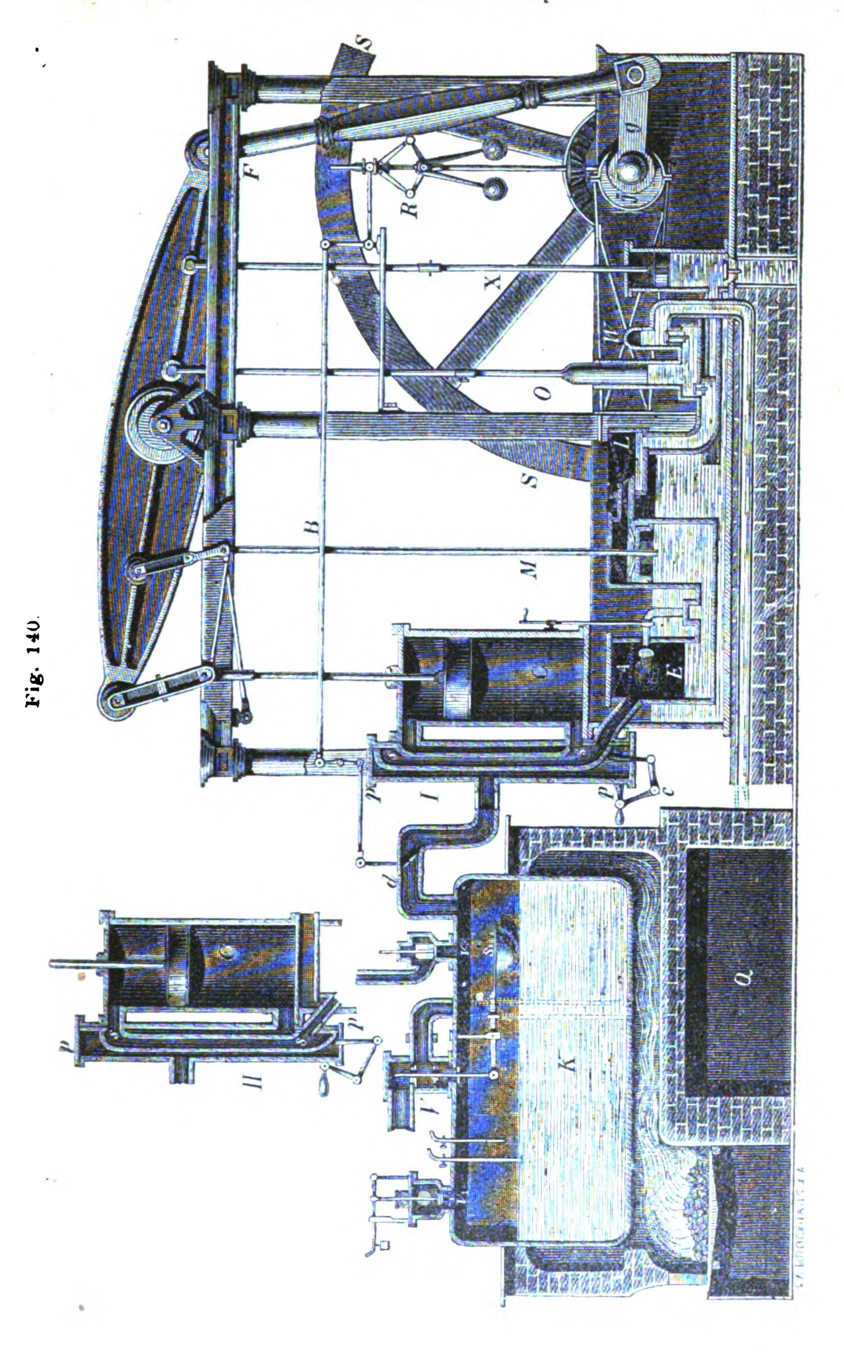


Fig. 140.

Räume zu der Speisepumpe *O*, die das Wasser in den Windkessel *W* und mittelst der Expansivkraft der eingeschlossenen Luft durch das Rohr *Q* dem Dampfkessel zutreibt. Der Zufluss zum Dampfkessel wird durch den Schwimmer s_1 mittelst der Ventile in *V* regulirt.

Maschinen mit Condensator nennt man Condensations- oder Niederdruck-Maschinen, weil der Gegendruck des abfliessenden Dampfes in Folge der Condensation bedeutend kleiner als eine Atmosphäre ist, weshalb man schon mit der Spannkraft von einer Atmosphäre die Maschine in Bewegung erhalten kann. Bei Maschinen, die den Dampf aus dem Cylinder in's Freie treten lassen, ist der Gegendruck gleich einer Atmosphäre, weshalb nur jener Theil der Spannkraft wirksam ist, um welche dieselbe eine Atmosphäre übersteigt; daher muss die Spannkraft bei diesen Maschinen wenigstens $2\frac{1}{2}$mal grösser sein als eine Atmosphäre, und man nennt sie Hochdruck-Maschinen. Um Dampf zu ersparen, sind besonders die Hochdruck-Maschinen so eingerichtet, dass dem Dampfe der Zutritt in den Dampfcylinder in dem Augenblicke abgeschlossen wird, wo der Kolben erst die Hälfte oder zwei Drittel seines Weges durchlaufen hat; in diesem Falle bewirkt der abgeschlossene Dampf die weitere Kolbenbewegung durch Expansion. So eingerichtete Maschinen heissen Expansions-Maschinen.

Der Vorgang der Wirkung des Dampfes ist bei allen Maschinen derselbe, nur in der Einrichtung unterscheiden sich die meisten beweglichen Maschinen von den stationären, indem an ersteren das Schwungrad durch zwei Dampfcylinder und der Balancier entweder durch oscillirende Dampfcylinder, wie bei Schiffsmaschinen, oder durch Gelenke in der Kolbenstange, wie bei Locomotiven, beseitigt werden. Um den Ersatz der einen Vorrichtung durch die andere zu begreifen, hat man zu überlegen, dass das Schwungrad den Zweck hat, die Bewegung durch sein Beharrungsvermögen möglichst gleichförmig zu machen und sie über die sogenannten todten Punkte fortzusetzen; der Balancier aber die geradlinige Bewegung in eine krummlinige umzuwandeln. An den todten Punkten ist die bewegende Dampfkraft gleich Null, und zwar bei jeder Umdrehung des Schwungrades zweimal, wenn die Pleuelstange mit dem Kur-

belarme in dieselbe Gerade fällt; braucht man daher zwei Cylinder und zwei Kurbeln, deren Arme gegeneinander senkrecht stehen, so tritt zugleich bei der einen Kurbel die Wirkung Null, bei der andern die grösste Wirkung auf, daher die Bewegung nicht unterbrochen wird.

Eine weitere Betrachtung aller Einzelheiten der Dampfmaschinen gehört in das Gebiet der speciellen Mechanik.

a) Die calorische Maschine von Ericson wird durch stark erhitzte Luft anstatt durch Wasserdampf in Bewegung erhalten. — Ihre Vortheile und Nachtheile?

b) Die Gasmaschine von Lenoir erhält ihre Triebkraft von einem explodirenden Gemenge von etwa 1 Volum Leuchtgas auf 20 Volume atmosphärischer Luft, welches unter dem Kolben im Cylinder selbst durch den electrischen Funken oder durch eine Gasflamme angezündet wird.

1. Wie gross ist der Druck, welchen ein Dampfkolben von F Quadrat-Decimeter Fläche erfährt, wenn die Maschine mit p Atmosphären arbeitet, und der Luftdruck auf 1 $\square^m$ = 10334 Kilogramm ist?

2. Wie gross ist in diesem Falle die theoretische Arbeit bei einem Kolbenhube, und wie gross der theoretische Effect per Secunde, wenn der Kolben n Gänge von der Höhe h per Minute macht, während der Dampf einen gleichen Gegendruck überwindet?

Grundlehren der Aërodynamik.

§. 25. Ursache der Bewegung luftförmiger Körper. Die Bewegung gasförmiger Körper stimmt hinsichtlich der absolut leichten Verschiebbarkeit mit jener der tropfbaren Flüssigkeiten überein, unterscheidet sich aber von derselben durch den Einfluss der Ausdehnsamkeit.

Die Bewegung luftförmiger Körper kann hervorgebracht werden:

a) durch Aenderung der Temperatur oder des Druckes an irgend einer Stelle der ausdehnsamen Flüssigkeit;

b) durch Verdünnung oder Verdichtung der Luft an irgend einer Stelle der Flüssigkeit;

c) durch Bewegung eines Körpers in der ausdehnsamen Flüssigkeit;

d) durch schnelle Condensation der in einer Luftmasse enthaltenen Wasserdämpfe oder durch Vermehrung derselben.

§. 26. **Gesetze des Ausströmens ausdehnsamer Flüssigkeiten aus Behältern.** Aus einem Behälter kann durch eine Oeffnung das eingeschlossene Gas nur dann ausströmen, wenn seine Expansivkraft grösser ist als die der atmosphärischen Luft. Ist e der Unterschied der Expansivkräfte des Gases und der äussern Luft, so erfolgt die Ausströmung genau so, als wenn das innere Gas durch einen gegen jede Flächeneinheit der Mündung wirkenden Druck e in einen leeren Raum getrieben würde. — Bezeichnet h die Höhe einer Luftsäule von durchaus gleichförmiger Dichte, die durch ihr Gewicht auf jede Flächeneinheit denselben Druck e auszuüben im Stande wäre, so ist analog wie bei tropfbaren Flüssigkeiten die Ausflussgeschwindigkeit

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Dieser Luftsäule h hält eine Quecksilbersäule von der Höhe H und dem specifischen Gewichte S das Gleichgewicht, und es ist

$$e = hs = HS, \text{ daraus } h = H\frac{S}{s},$$

mithin

$$v = \sqrt{2gH\frac{S}{s}}$$

und wenn man HS durch die Expansivkraft e oder die specifischen Gewichte durch die Dichten D und d ersetzt

$$v = \sqrt{2g\frac{e}{s}} \text{ oder } = \sqrt{2gH\frac{D}{d}} \ldots (1) \ldots \text{ d. h.?}$$

a) Bedeutet d' die Dichte eines andern Gases, welches den nämlichen Druck wie das frühere auf die Mündung ausübt, so wird e dadurch nicht verändert und man hat

$$v : v' = \sqrt{\frac{1}{d}} : \sqrt{\frac{1}{d'}} \ldots (2),$$

d. h. die Ausflussgeschwindigkeiten zweier Gase bei gleichem Drucke verhalten sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus ihren Dichten.

Die Proportion *(2)* drückt aber auch das von Graham entdeckte Gesetz der Diffusion der Gase aus. Da aber das vorste-

hende Gesetz für den Ausfluss in den luftleeren Raum gilt, so werden wir mit Nothwendigkeit zu dem Dalton'schen Gesetze geführt, dass der von einem Gase eingenommene Raum bezüglich eines anderen Gases als leerer Raum zu betrachten sei.

b) Ist H die Höhe der Quecksilbersäule, die dem Ueberschusse an Expansivkraft des Gases im Behälter Gleichgewicht hält, b die Barometerhöhe, so ist $(b + H)\,S$ die Expansivkraft des eingeschlossenen Gases und bS die der äussern Luft. Bedeutet d die Dichte des Gases, d' die Dichte der Luft, so ist nach dem Mariotte'schen Gesetze

$$d' : d = b : (b + H), \text{ und } d = \frac{d'}{b}(b + H),$$

folglich ist die Ausflussgeschwindigkeit eines verdichteten Gases aus einem Behälter in die äussere Atmosphäre nach der Gleichung (1)

$$v = \sqrt{2g\frac{HD \,.\, b}{d'\,(b + H)}} \ldots (3).$$

c) Ausflussmenge. Bleibt die Dichte des Gases an der Ausflussmündung stets dieselbe, d. h. steht das Gas unter einem unveränderlichen Drucke, so ist die theoretische Ausflussmenge M aus einer Oeffnung vom Querschnitte a in der Zeit t

$$M = at\sqrt{2g\frac{HD}{d}} \ldots (4).$$

Aber wie bei tropfbaren Flüssigkeiten, so ist auch hier ein Contractions-Coëfficient μ nothwendig, um die wirkliche Ausflussmenge zu erhalten. Für den Ausfluss in dünnen Wänden ist $\mu = 0{\cdot}65$, bei cylindrischen Ansatzstücken aber $\mu = 0{\cdot}93$.

§. 27. **Die Bewegung der Gase in Röhren** erleidet dieselben Hindernisse wie tropfbare Flüssigkeiten, und der Widerstand kann wegen der Schnelligkeit der Bewegung dem Ausdrucke $\frac{\mu l v^2}{d}$ proportional gesetzt werden, wo l die Länge, d der Durchmesser der Röhre v die Geschwindigkeit und μ ein durch Versuche zu bestimmender Coëfficient.

Die Bewegung in Röhren wird bewirkt durch den Unterschied des Druckes an der Ein- und Ausströmungsöffnung, was

durch Verdichtung oder durch Verdünnung des Gases am Anfange oder am Ende der Röhre, oder durch Temperaturänderung erzielt werden kann.

Als Beispiel betrachten wir die Bewegung der Luft im Schornsteine. Bezeichnen wir mit Q den Druck der Luft auf seinen obern Querschnitt, mit p das Gewicht der Luft im Schornsteine bei der Temperatur t der äussern Atmosphäre, mit p_1 bei einer höhern Temperatur t'. Bei gleicher Temperatur in und ausser dem Schornsteine hält der innere Bodendruck $Q + p$ dem äussern Drucke das Gleichgewicht; bei t' aber ist der Luftdruck auf den untersten Querschnitt im Schornsteine nach unten gleich $Q + p_1$, und von der äussern Atmosphäre her nach oben noch $Q + p$, mithin ist $Q + p - (Q + p_1) = p - p_1$ die Kraft, welche die warme Luft im Schornsteine in die Höhe treibt.

Ist h die Höhe des Schornsteines, a sein Querschnitt, s das specifische Gewicht der Luft bei 0^0 R. und s_1 jenes bei t^0, so ist

$$p = ahs_1, \text{ und } s : s_1 = (1 + \alpha t) : 1, \text{ also } s_1 = \frac{s}{1 + \alpha t},$$

folglich
$$p = \frac{ahs}{1 + \alpha t} \text{ und } p_1 = \frac{ahs}{1 + \alpha t'},$$

mithin die Kraft $p - p_1 = \dfrac{ahs\,(t' - t)\,\alpha}{(1 + \alpha t)\,(1 + \alpha t')}$.

Um die der Ausflussgeschwindigkeit v entsprechende Druckhöhe h_1 zu finden, denken wir uns eine überall gleich dichte Luftsäule von dem Querschnitte a, von der Temperatur t' und von einer solchen Höhe h_1, dass sie der Kraft $p - p_1$ das Gleichgewicht hält. Mit Rücksicht auf die obigen Druckformeln haben wir

$$\frac{ah_1 s}{1 + \alpha t'} = p - p_1;$$

daraus $h_1 = \dfrac{h\,(t' - t)\,\alpha}{1 + \alpha t}$ und $v = \sqrt{2gh_1} = \sqrt{\dfrac{2gh\,(t' - t)\,\alpha}{1 + \alpha t}}$.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die warme Luft aus dem Schornsteine strömt, wächst also mit seiner Höhe h und dem Temperatur-Unterschiede, folglich nimmt die Ausflussmenge mit denselben Grössen und noch mit dem Querschnitte des Schornsteines zu.

Diese theoretische Ausflussmenge bedarf aber wegen des Widerstandes $W = \dfrac{\mu l v^2}{d}$ einer Correction, in der μ von dem Materiale und dem Umfange der Röhre, von dem geleiteten Gase und von der Temperatur abhängt.

Will man bei milder Witterung den Zug vermehren, so verlängert man den Schornstein durch angesetzte Röhren.

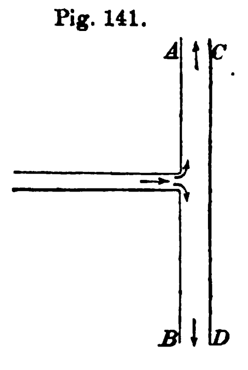
§. 28. **Stoss der bewegten Luft.** Wie die Stärke des Stosses des fliessenden Wassers, so wird auch die einer bewegten Luftmasse gegen eine ruhende Fläche aus dem Ausdrucke $P = FS \frac{v_2}{sg}$ berechnet, wo F die Stossfläche, S das specifische Gewicht der Luft, und v ihre Geschwindigkeit ist.

Der Umstand jedoch, dass die Luft beim Anstossen verdichtet wird und sich hierauf ausdehnt und in beiden Fällen auf den Körper wirkt, bedingt eine Abänderung in der Stärke des Stosses, so dass diese bei einer Geschwindigkeit über 200 Fuss in einem grössern als dem quadratischen Verhältnisse wächst.

Der Widerstand bleibt fast derselbe, wenn sich der Körper mit v bewegt und die Luft ruhig steht, indem die gegenseitige Einwirkung dabei dieselbe bleibt. Der Stoss bewegter Luft wirkt als bewegende Kraft an den Windflügeln der Windmühlen, an den Segelflächen der an Mastbäumen hängenden Segel bei den Schiffen. In diesen Fällen trifft im Allgemeinen der Stoss schief gegen die Flächen und es wirkt nur dessen senkrechte Componente.

a) Das aërodynamische Paradoxon. Wird aus einer offenen Röhre Luft gegen eine bewegliche Fläche getrieben, so wird diese in Bewegung gesetzt; wenn man aber aus einer engen Röhre die mit einer breiten Platte AB (Fig. 141) versehen ist, gegen eine leicht bewegliche Fläche CD bläst, so wird diese aus einer geringen Entfernung sogar angezogen und legt sich an AB. Die Ursache liegt darin, dass die aus der engen Röhre kommende Luft zwischen den Platten AB und CD schnell entweicht und daher der aërodynamische Druck geringer ist als jener der Atmosphäre. Diese Erscheinung nennt man das aërodynamische Paradoxon.

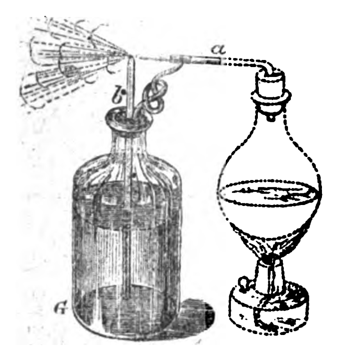
Fig. 141.



Denkt man sich die in der Figur in die Oeffnung $ABCD$ ausmündende Röhre würde anstatt dieser eine konische Erweiterung haben, so würde aus demselben Grunde der Luftstrom, der von dem engeren Ende kommt, den Luftdruck auf die inneren Wände des erweiterten Endes vermindern. Lässt man während des Blasens eine Röhre, die am unteren Ende in eine Flüssigkeit eingetaucht ist, in die erweiterte konische Wand einmünden, so hebt der stärkere äussere Luftdruck die Flüssigkeit in der Röhre. — Beim Einblasen in die weitere Oeffnung würde an der engeren Mündung ein grösserer Seitendruck entstehen.

Auf dem ersteren Falle beruht die saugende Wirkung eines Luftstromes beim Inhalationsapparat (Fig. 142). Strömt der in einem Glaskolben erzeugte Wasserdampf durch ein Röhrchen *a* nahe an der Mündung einer in eine Flüssigkeit eingetauchten Röhre aus, so saugt er dieselbe hervor und zerstäubt sie. — Diselbe Erscheinung erzielt man durch einfaches Blasen

Fig. 142.



b) Reaction. Ausströmende Gase üben eine Reaction aus wie tropfbare Flüssigkeiten und bringen dadurch Bewegungen hervor, so z. B. das Aufsteigen der Raketen etc.

Aufgabe. Welchen Druck übt ein Wind von 20 Meter Geschwindigkeit auf ein Segel von 5 □^{m}, das er unter dem Winkel von 45° trifft?

§. 29. **Luftströmungen.** Aus der Bewegung der erwärmten Luft im Schornsteine ersehen wir, dass überall, wo Luftmassen von ungleicher Temperatur an einander grenzen, Luftströme entstehen, indem sich oben die wärmere Luft in den kältern Raum begibt, unten die kältere in den wärmern nachrückt. So entsteht eine Luftströmung in Zimmern bei offenen Fenstern oder Thüren, und hierin liegt auch die Ursache für die Entstehung der meisten Winde im Haushalte der Natur. Am deutlichsten zeigt sich der Einfluss der ungleichen Temperaturen der Luftmassen auf deren Bewegung in dem periodischen Wechsel der Windesrichtung an den Meeresküsten. Das feste Land erwärmt sich rascher als das Wasser und kühlt sich wieder rascher ab, daher ist beim Tage die Luft über dem Lande, bei der Nacht jene über dem Wasser wärmer und steigt in die Höhe, während die kältere Luft unten zuströmt, es entsteht also am Tage ein Seewind gegen das Land, bei der Nacht ein Landwind vom festen Lande gegen die See. Auch die Ungleichheit der Temperatur der Luft über den Aequatorial- und Polargegenden veranlasst constante Luftströmungen, Passatwinde genannt. In den untern Luftschichten gehen kalte Luftströme von den Polen gegen den Aequator, die man Polarströme nennt, und in den obern warme Luftströme vom Aequator gegen die Pole, Aequatorialströme genannt. Die Strömungen der Luft weichen jedoch wegen der Rotation der Erde von der Nordsüd-Richtung ab; die Polarströme

gelangen in Parallelkreise von grösserer Rotations-Geschwindigkeit und bleiben als träge Massen gegen die Orte der Erdoberfläche etwas zurück und üben somit auch einen Stoss von Ost nach West, der sich mit dem von ihrer Nordsüd-Richtung herrührenden Stosse zu einem Nordostwinde, und mit der Südnord-Richtung zu einem Südostwinde zusammensetzt. Der Aequatorialstrom hingegen wird in der nördlichen Halbkugel ein Südwest- und in der südlichen ein Nordwestwind. — Zwischen den Wendekreisen erzeugen daher die Polarströme einen Ostwind, der am Aequator durch die aufsteigenden Luftströme aufgehoben wird, daher diese Regionen Windstillen oder Calmen genannt werden.

Sechster Abschnitt.

Magnetismus.

§. 1. **Natürliche und künstliche Magnete.** Man hat schon in alten Zeiten an gewissen Eisenerzen, Magneteisenstein, die besondere Eigenschaft beobachtet, kleine Eisenstücke aus der Ferne anzuziehen und nach der Berührung festzuhalten. Diese Eisenerze nennt man natürliche Magnete; sie werden nach der Stadt Magnesia in Kleinasien benannt, wo sie zuerst gefunden wurden; die fernwirkende Kraft derselben heisst magnetische Kraft oder Magnetismus.

Die magnetische Kraft zeigt sich besonders stark an gewissen Punkten des Magnetes, die man Pole nennt.

Die Lage der Pole kann man durch Eisenfeile bemerklich machen; diese bleibt an den Polen in grösserer Menge hängen als an andern Stellen. In der Mitte zwischen den zwei Polen eines Magnetes zeigt sich gewöhnlich keine merkliche Kraft.

In manchen Körpern kann man durch gewisse Mittel den Magnetismus hervorrufen; so wird z. B. weiches Eisen in der Wirkungssphäre eines Magnetes selbst magnetisch, verliert aber den Magnetismus, wenn es vom Magnete getrennt wird; nimmt hingegen Stahl den Magnetismus an, so behält er ihn andauernd

und heisst dann ein künstlicher Magnet. Die Stahlmagnete sind es, deren man sich zu magnetischen Untersuchungen bedient. Die Pole der Stahlmagnete liegen in der Nähe ihrer beiden Enden.

§. 2. Erzeugung permanenter Magnete.

a) Die einfachste Methode besteht in dem Anlegen des einen Endes eines Stahlstabes an den einen Pol eines kräftigen Magnetes. Das angelegte Ende bekommt den entgegengesetzten Pol.

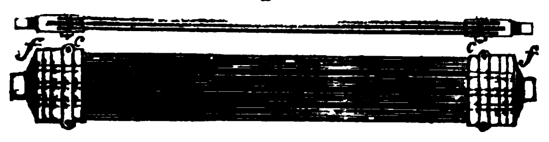
Bei dieser Methode erscheint jedoch der angelegte Pol stärker als der entfernte Pol des Stabes, ja es entstehen bei längeren Stäben oft die sogenannten Folgepunkte, wobei sich in einem und demselben Stabe mehrere vollständige Magnete ausbilden.

1. Eine Verbesserung der Methode besteht in dem einfachen Strich. Man streicht den zu magnetisirenden Stahlstab mit einem und demselben Pole eines kräftigen Magnetes in derselben Richtung, indem man einen Magnetpol auf das eine Ende des Stabes aufsetzt und über die ganze Länge unter einem Drucke regelmässig fortzieht, über das Ende im Bogen hinausfährt und wieder von vorne anfängt.

Bis zu einer gewissen Grenze wächst mit jedem Striche die magnetische Kraft des Stahlstabes. Das Ende des Stahlstabes, wo der Strich beginnt, erhält einen Pol, der mit dem streichenden gleichnamig ist, das andere Ende, wo der Strich aufhört, erhält den ungleichnamigen Pol.

2. Man pflegt den Streichmagnet auch in der Mitte des Stahlstabes aufzusetzen, dann streicht man zuerst das eine Ende des Stabes, indem man über das Ende hinaus fährt und den Magnet in der Mitte aufsetzt, dann kehrt man den Streichmagnet um und streicht mit dem anderen Pol die andere Hälfte des Stabes, so wie man die erste Hälfte gestrichen hat.

Fig. 143.

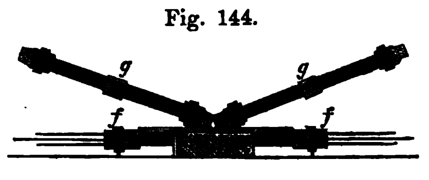


3. Will man stärkere Stahlstäbe magnetisiren, so verschafft man sich erst starke Magnetbündel, wie sie Figur 143 darstellt. Die Magnetbündel bestehen aus parallelen gleichgerichteten Magneten, welche durch eine eiserne Einfassung mit einander fest verbunden sind. Die eiserne Einfassung wird von allen Stäben zugleich magnetisch und bekommt einen starken Mag-

netismus. — Anstatt der Magnetbündel kann man auch sehr starke Magnete anwenden.

Man legt den Stahlstab, welchen man magnetisiren will, mit seinen Enden auf die ungleichnamigen Pole zweier Magnetbündel (Fig. 144), unterlegt ihn in der Mitte mit einem Holzstück *l*, setzt auf die Mitte desselben die ungleichnamigen Pole zweier gleich starker Magnetbündel und streicht mit dem einen das linke, mit dem anderen das rechte Stabende, so dass man gleichzeitig an den Enden ankommt. Dann setzt man die Magnetbündel wieder in die Mitte und streicht wie früher. — Zehn bis zwanzig Striche auf beiden Seiten des Stahlstabes genügen, um die Stärke hervorzurufen, wie sie bei den gewählten Bündeln und dem Stabe möglich ist.

Fig. 144.

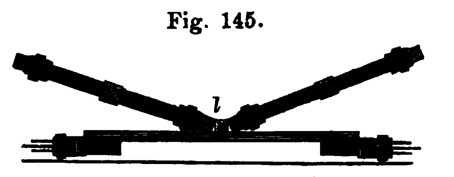


Die streichenden Pole müssen mit denen der benachbarten Unterlage gleichnamig sein.

b) Methode des doppelten Striches.

1. Man legt einen starken Stahlstab, welchen man magnetisiren will, auf die entgegengesetzten Pole zweier Magnetbündel (Fig. 145), setzt die entgegengesetzten Pole zweier Magnetbündel durch ein Holzstück *l* getrennt in der Mitte des Stabes auf und fährt mit beiden zugleich nach dem einen Ende des Stabes, dann zurück über die Mitte hin nach dem anderen Ende, aber nie über das Ende hinaus. Auf jeder Seite des Stabes fährt man so zehn bis zwanzigmal hin und her, und hebt die Magnetbündel in der Mitte wieder ab. Während des Streichens hält man die Magnetbündel unter einem Winkel von 15 bis 20 Grad.

Fig. 145.



Auch hier müssen die streichenden Pole mit denjenigen der Unterlage, denen sie beim Streichen am nächsten gebracht werden, gleichnamig sein.

2. Um hufeisenförmige Magnete zu bereiten, legt man eine Platte von weichem Eisen über die Enden des zu magnetisirenden Hufeisens (Figur 146 und 147), setzt dann die beiden Enden eines starken Hufeisenmagnetes entweder auf die Enden und streicht mit beiden zugleich über den Bogen hinaus, oder an dem Bogen auf und streicht gegen die Enden.

Diese Methode gehört zu den wirksamsten; mit zehn Strichen erreicht man oft schon die grösstmögliche Kraft.

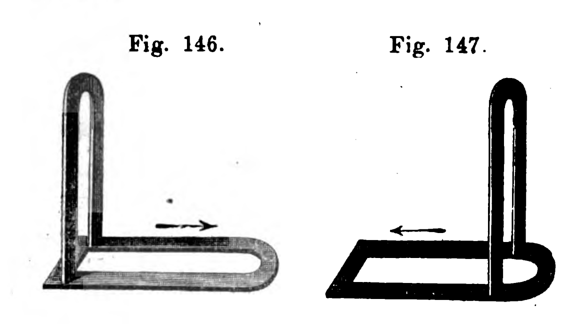


Fig. 146. Fig. 147.

Hat man einen Hufeisenmagnet von so grossem Gewichte, dass man nur schwer mit ihm streichen könnte, so befestiget man ihn auf einem Tische, so dass seine Enden darüber hinausragen; an diesen Enden streicht man nun den zu magnetisirenden Stahlstab.

Anmerkung: Der Streichmagnet gibt dem Stahle magnetische Kraft, ohne selbst an seiner Kraft etwas zu verlieren.

Eine reiche Quelle starker Magnete bilden electrische Ströme.

Mechanische Arbeit und Wärme erscheinen als weitere in der Natur vorkommende Erregungsarten des Magnetismus. So kann durch Drehen (Torsion) und Schlagen, durch öfteres Erwärmen und rasches Abkühlen Stahl dauernd magnetisch werden. Diese Erscheinung beobachtet man an Feilen, Bohrern, Radaxen, an den eisernen Ofengütern u. s. w. — Ein Magnet verliert durch Erschütterungen sowie auch durch Erwärmung theilweise oder ganz den Magnetismus; aber es können durch fortdauernde Erschütterungen, wie durch abwechselnde Erwärmung und Abkühlung wieder dauernde Magnete erzeugt werden, denn wird der Stab nach erfolgter Erwärmung wieder magnetisirt, so behält er bei wiederholter Erwärmung immer mehr permanenten Magnetismus.

§. 3. **Richtung des beweglichen Magnetes, Polarität, Erdmagnetismus.** Wird ein Magnet an einem Faden freibeweglich aufgehängt, so richtet er sich stets mit einem Pole gegen Norden, mit dem andern gegen Süden. In Deutschland nennt man das nach Norden gekehrte Ende Nordpol, das andere aber Südpol.

Nähert man diesem beweglichen Magnete einen andern, so findet man, dass jeder seiner Pole von einem ungleichnamigen Pole des letztern angezogen, und von einem gleichnamigen abgestossen wird. Daraus folgt, dass die zwei Pole eines Magnetes von verschiedener Natur sind. Man nennt deshalb die ungleichnamigen Pole die freundlichen, die gleichnamigen die feindlichen, und ihren Magnetismus den Nord- und Südmagnetismus oder auch den positiven und negativen Magnetismus. Die Eigen-

schaft der entgegengesetzten Wirkung der zwei Pole nennt man Polarität.

Die Erde zeigt dasselbe Verhalten rücksichtlich eines freibeweglich aufgehängten Magnetes, wie ein fixer Magnet zu einem beweglichen, denn ihr nördlicher Theil zieht den einen Pol des Magnetes an, während er den andern abstosst; daher kann man sie für einen Magnet ansehen, dessen Pole in der Nähe der geographischen Pole liegen. Die dem Erdkörper eigenthümliche Kraft, den freibeweglichen Magnet in die Richtung von Norden nach Süden zu stellen, nennt man Erdmagnetismus.

§. 4. **Constitution der Magnete. Kraft der Pole. Magnetische Axe.** Versieht man eine Stahlnadel (z. B. eine Stricknadel) vor dem Magnetisiren mit einer Anzahl von Feilstrichen, so zerbricht sie leicht an diesen Stellen. Wird die Stahlnadel magnetisch gemacht und dann in beliebig viele Theile zerbrochen, so erscheint jedes abgebrochene Stück als ein vollständiger Magnet mit beiden Polen. Jedes Bruchstück hat seinen Nordpol an dem Ende, welches im ursprünglichen Magnet dem Nordpol zugewendet war, am andern ursprünglich dem Südpol zugewendeten Ende aber den Südpol.

Man kann sich also jeden Magnet zusammengesetzt denken aus beliebig vielen Elementarmagneten, deren gleichnamige Pole sämmtlich nach derselben Seite gerichtet sind. Die kleinsten Elementarmagnete erscheinen daher als magnetische Moleküle.

Die magnetischen Kräfte der Elementarmagnete wandern also nicht von einem Theilchen zum andern und können auch nicht von einem Magnet auf ein unmagnetisches Eisenstück übertragen werden; denn beim Magnetisiren erhält der magnetisirte Stahlstab magnetische Kraft, ohne dass der magnetisirende Magnet etwas von seinem Magnetismus verloren hätte.

Man pflegt sich daher vorzustellen, dass die Moleküle magnetisirbarer Körper, wie Eisen, Kobalt, Nickel, Chrom und Mangan, schon ursprünglich magnetisch, aber noch nicht geordnet seien, so dass ihre magnetischen Axen noch nach allen möglichen Richtungen durcheinander liegen. Das Magnetischwerden besteht nach dieser Ansicht darin, dass der magnetisirende Pol die Molekularmagnete ordnet und alle ihre Axen parallel stellt, indem

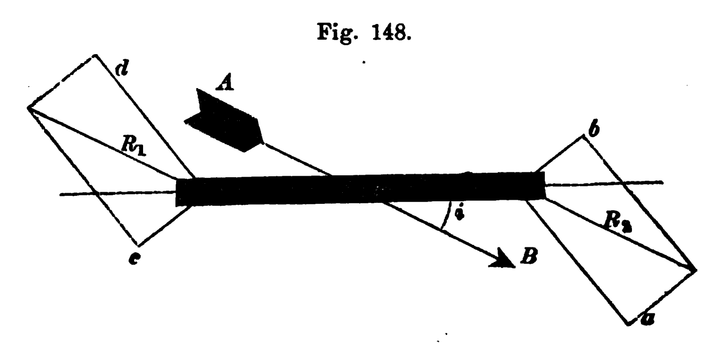
er die gleichnamigen Pole anzieht, die ungleichnamigen aber abstosst.

Die magnetische Kraft der Pole muss vermöge dieser Constitution als die Gesammtkraft oder die Resultirende sämmtlicher Kräfte der Molekularmagnete angesehen werden. Der Angriffspunkt der Resultirenden sämmtlicher nördlichen Magnetismen ist der mathematische Nordpol, jener sämmtlicher südlichen Magnetismen der mathematische Südpol des Magnetes. Die Verbindungslinie dieser mathematischen Pole, so wie jede zu ihrer Richtung parallele, nennt man magnetische Axe.

§. 5. **Der magnetische Meridian; Declination und Inclination.** Wird ein Stahlmagnet in seinem Schwerpunkte an einem Faden aufgehängt, so nimmt er nach einigen Schwankungen eine bestimmte Lage an, und zwar weicht seine Richtung um einige Grade von der Süd-Nordrichtung ab, so dass der Nordpol in der Richtung nach Nordwest unter den Horizont geneigt erscheint. Es senkt sich in nördlichen Breiten der nach Norden gerichtete Theil herab und bildet mit dem Horizonte einen Winkel, der z. B. in Wien beinahe 65^0 beträgt.

Die verticale Ebene, in welcher der durch den Erdmagnetismus in's Gleichgewicht gebrachte Magnet sich befindet, heisst die Ebene des magnetischen Meridians. Der Winkel, den der magnetische Meridian mit dem geographischen bildet, heisst die magnetische Abweichung oder Declination; sie beträgt in Wien ungefähr 13^0; und der Winkel, welchen der Nordpol des

Fig. 148.



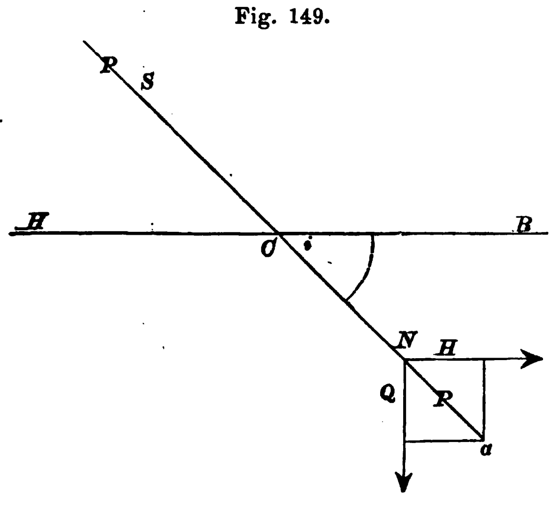
Magnetes mit dem Horizonte macht, die magnetische Neigung oder Inclination. Jene Ebene, die auf der Axe dieses Magne-

tes, also auf der Inclinations-Richtung senkrecht steht, nennt man den **magnetischen Aequator**.

§. 6. **Die richtende Kraft des Erdmagnetismus ist ein Kräftenpaar.** Denken wir uns den Magnet *NS* (Fig. 148) horizontal und um den Punkt *C* freibeweglich aufgestellt. Ist *N* der Mittelpunkt des nördlichen, *S* des südlichen Magnetismus, wo dann die Richtung *NS* die **magnetische Axe** heisst, so hat man nur die Wirkung der Erde auf diese zwei **mathematischen Pole** zu untersuchen.

Der freundschaftliche Magnetismus des Nordens zieht *N* mit einer Kraft, deren Richtung und Stärke *Na* sei, er wirkt aber mit derselben Stärke und in einer parallelen Richtung auf *S* abstossend, also ist *Na* gleich und parallel mit *Sd*. Der Magnetismus des Südens der Erde wirkt auf *S* anziehend, aber mit einer kleinern Kraft *Sc*, denn es nimmt jede fernwirkende Kraft mit der Entfernung ab, und auf *N* abstossend mit der Kraft *Nb* gleich und parallel mit *Sc*. Die Resultirenden R_1 und R_2 müssen also auch gleich und parallel sein, und den beweglichen Magnet um *C* so lange **drehen**, bis er die Richtung von R_1 und R_2 annimmt, in der sich dann dieses **Kräftenpaar** das Gleichgewicht hält, und keine fortrückende Bewegung gestattet. Wir ersehen daraus die Ursache der Neigung des Nordpols unter den Horizont.

Fig. 149.



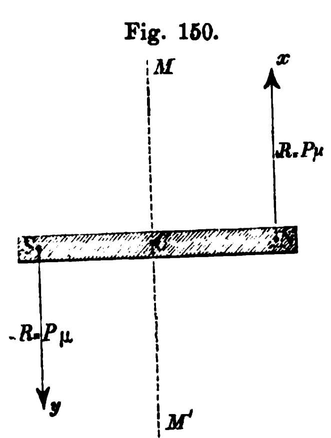
a) **Die Kräfte, welche auf eine Inclinations- und auf eine Declinationsnadel wirken.** Ist *NS* (Fig. 149) ein im Schwerpunkte frei beweglich aufgehängter Magnet, auf welchen die **totale** Kraft *P* des Erdmagnetismus wirkt, und ist eine Vorrichtung vorhanden, an der man den Winkel *i* zwischen dem

Horizonte HR und dem herabgesenkten Ende CN ablesen kann, so hat man eine Inclinationsnadel.

Die Declinationsnadel soll sich hingegen im Horizonte bewegen, um den Winkel zwischen dem magnetischen und dem geographischen Meridian anzuzeigen. Zerlegen wir die totale erdmagnetische Einwirkung P in eine horizontale Componente H und in eine verticale Q, wo $H = P . \cos i$ und $Q = P . \sin i$ ist, so sehen wir in Q die Ursache der Neigung unter den Horizont. Um die Senkung zu verhindern, rückt der Mechaniker den Schwerpunkt der Nadel etwas über C gegen S hin und stellt so eine Declinationsnadel her, die nur im Horizonte beweglich der Componente H folgt.

b) Magnetische Directionskraft. Bringt man eine Declinationsnadel aus ihrer Gleichgewichtslage, so wird die Richtung ihrer Axe mit der Richtung der erdmagnetischen Kraft einen Winkel einschliessen und es wird sich ein Drehungsmoment, gleich wie bei einem aus der Ruhelage gebrachten Pendel bilden, welches den Magnet zur Ruhelage zurüktreibt und in dem Falle ein Maximum ist, wenn der Magnet senkrecht auf dem magnetischen Meridian steht. Dieses grösste Drehungsmoment heisst auch magnetische Directionskraft.

Fig. 150.



Es sei (Fig. 150) NS ein um C drehbarer Magnet senkrecht auf den magnetischen Meridian MM' gestellt, so wirkt nach Nx die magnetische Kraft $+ R$, nach Sy aber die Kraft $- R$, und es ist, da beide Kräfte in gleichem Sinne drehen, das totale Drehungsmoment

$$R . CN + R . CS = R . NS.$$

Nennt man μ die Grösse des in einem mathematischen Pole befindlichen Magnetismus, P aber die auf die Einheit dieses Magnetismus wirkende erdmagnetische Kraft, und setzt $NS = \delta$, so erhält man, berücksichtigend dass die Einwirkung P mit μ wächst, $R = P\mu$ und $R . NS = P\mu\delta$.

Für $P = 1$ ist $R \,.\, NS = \mu\delta = M$. Dieses Produkt M heisst das magnetische Moment des Magnetes NS, es ist gleich dem grössten Drehungsmomente eines Gewichtes μ an einem Hebelarme von der Länge δ.

Ist die wirkende Kraft z. B. H, so ist $M \,.\, H$ ihr grösstes Drehungsmoment.

§. 7. Hilfsmittel zur Messung der magnetischen Kräfte. Tragkraft, Directionskraft.

a) Die Tragkraft eines Magnetes scheint ein einfaches Mittel zur Messung der Stärke des Magnetismus darzubieten; dies ist jedoch nicht der Fall. Damit die Tragkraft als Maass dienen könnte, müsste sie stets der Stärke des Magnetismus proportional sein; daher müsste die Tragkraft eines Hufeisenmagnetes zweimal so gross sein als die Tragkraft jedes einzelnen Poles. Ein einfacher Versuch aber lehrt, dass dieses nicht der Fall ist, denn man findet die Tragkraft beider Pole bedeutend grösser.

Bezüglich der Tragkraft ist hervorzuheben, dass Häcker durch Versuche nachgewiesen hat, dass die Tragkraft T, die ein Magnet erhalten kann, der dritten Wurzel aus dem Quadrate seines Gewichtes Q proportional ist

$$T = \pi \,.\, \sqrt[3]{Q^2}.$$

Daraus folgt, dass die Tragkraft eines Magnetes langsamer zunimmt als das Gewicht desselben.

Ferner lehrt die Erfahrung die noch unerklärte Eigenthümlichkeit, dass wenn ein Hufeisenmagnet heute bis nahe zur Grenze seiner Tragkraft belastet wird, er morgen aufs neue über die heutige Grenze belastet werden kann u. s. f. bis zum Doppelten der ursprünglichen Tragkraft. Ueberschreitet man aber diese Grenze, so fällt das Gewicht ab, und man findet darnach, dass die Tragkraft dadurch wieder auf die ursprüngliche Grösse gesunken ist.

b) Die Directionskraft der Magnete wirkt in der Ebene des magnetischen Meridians genau so wie die Schwerkraft in einer verticalen Ebene. Wird eine Declinationsnadel aus ihrer Ruhelage gebracht und ausgelassen, so tritt dieselbe Erscheinung auf wie bei einem aus seiner Ruhelage gebrachten Pendel; das Pendel wird von der Schwerkraft in die verticale Lage zurückgezogen und schwingt um dieselbe, bevor es zur Ruhe kommt; der Magnet

wird vom Erdmegnetismus in den magnetischen Meridian gezogen und schwingt wie ein Pendel, bevor er zur Ruhe kommt. In der Ruhelage liegt seine magnetische Axe im magnetischen Meridian.

Ein scheinbarer Unterschied zwischen einem schwingenden Magnet und Pendel liegt auf den ersten Anblick darin, dass die Declinations- oder die Inclinationsnadel nicht um eine am Ende des Stabes befindliche Axe schwingt. Die Directionskraft (mithin auch in Schwingungen) ändert sich aber nicht, wenn der Magnet (Fig. 150) anstatt um die Axe C um einen Endpunkt, z. B. um S drehbar ist, denn dann ist sein grösstes Drehungsmoment unmittelbar gleich $R \,.\, NS$. — Bei einem beliebigen Ablenkungswinkel α ist die Directionskraft $R \,.\, NS \sin \alpha$, so wie beim einfachen Pendel (Fig. 60 S. 163) das Drehungsmoment beim Ausschlagswinkel α gleich ist $Q \,.\, AD = Q \,.\, l \sin \alpha$.

Vergleicht man nun die wirkenden Kräfte: beim Magnet $R = P \,.\, \mu$, beim Pendel aber $Q = mg$, und erinnert sich, dass man die Grösse und die Aenderung von g durch Pendel-Schwingungen ermitteln kann, so wird es klar, dass man durch Schwingungen der Magnete bei constantem Magnetismus μ des Magnetes die Grösse und Aenderung der erdmagnetischen Kraft P finden kann. Auf diese Weise kann man bei constantem P ebenso gut die Grösse μ finden und Magnete vergleichen.

§. 8. **Gesetze der magnetischen Fernwirkung.** a) Wenn nur **ein** Pol auf eine Magnetnadel wirkt. Nimmt man eine gegen äussere Störungen gehörig geschützte Declinationsnadel und bringt sie aus ihrer Gleichgewichtslage, so wird sie in Folge der Einwirkung der horizontalen Componente H um ihre Ruhelage schwingen wie ein Pendel. Die Schwingungsdauer eines zusammengesetzten Pendels bei sehr kleinen Elongationen aber ist

$$t = \pi \sqrt{\frac{K}{Mga}},$$

wo K dessen Trägheitsmoment bezüglich der Drehungsaxe, M seine Masse, a den Abstand des Schwerpunktes von der Axe und g die Acceleration der Schwere bedeutet. Da Mg das Gewicht des Pendels ist, so ist Mga sein grösstes Drehungsmoment;

ersetzt man dieses durch das grösste Drehungsmoment MH der Declinationsnadel, so hat man für ihre Schwingungsdauer den Ausdruck

$$t = \pi . \sqrt{\frac{K}{MH}}.$$

Macht die Declinationsnadel während der Beobachtungszeit T eine gewisse Anzahl n Schwingungen, so ist die Dauer einer Schwingung

$$\frac{T}{n} = \pi \sqrt{\frac{K}{MH}}.$$

Man lege in einem gewissen Abstand d einen langen Magnetstab horizontal in den magnetischen Meridian, so dass die Axen der Nadel und des Magnetes in eine Gerade fallen und der Nordpol gegen Norden gekehrt erscheint, so lässt sich annäherungsweise annehmen, dass nur der benachbarte Magnetpol auf die Nadel mit einer Kraft F einwirkt und zwar im Sinne der erdmagnetischen Componente H, daher addiren sich H und F in ihrer Einwirkung, und man hat in der Zeit T eine andere Schwingungszahl N, und es ist

$$\frac{T}{N} = \pi \sqrt{\frac{K}{M\,(H+F)}},$$

mithin $\frac{N}{n} = \sqrt{\frac{(H+F)}{H}}$, daraus $F = H\,\frac{(N^2 - n^2)}{n^2} \ldots (1).$

Versetzt man den Magnet in einen andern Abstand d', so wirkt er mit einer andern Kraft F' auf die Nadel ein, die Schwingungszahl wird N_1 und man hat analog der Gleichung *(1)*

$$F' = H\,\frac{(N_1{}^2 - n^2)}{n^2} \ldots (2).$$

Vergleicht man die Gleichung *(1)* und *(2)*, so erhält man

$$F : F' = (N^2 - n^2) : (N_1{}^2 - n^2).$$

Nun lehren die Versuche, dass auch nahe

$$(N^2 - n^2) : (N_1{}^2 - n^2) = d'^2 : d^2$$

ist, folglich $F : F' = d'^2 : d^2 \ldots (3),$

d. h. die magnetische Einwirkung eines **Magnetpoles** auf einen andern nimmt im quadratischen Verhältnisse mit der Entfernung ab. — Setzt man in dem Pole des Magnetes und der Nadel beziehungsweise die Magnetismen M und m in der Entfernung d voraus, so ist die Kraft

$$F = \frac{Mm}{d^2} \dots (4).$$

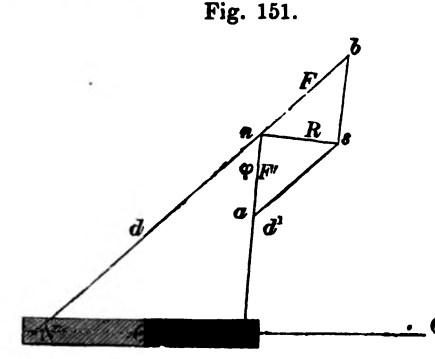
Coulomb fand, dass eine Magnetnadel, die unter dem Einflusse des Erdmagnetismus 15 Schwingungen in der Minute machte, deren 24 vollbrächte, wenn ein Magnet in der Entfernung von 8 Zoll die Schwingungen beschleunigte, und 41, wenn die Entfernung nur 4 Zoll betrug; mithin ist

$$F : F' = 24^2 - 15^2 : 41^2 - 15^2 \text{ nahe} = 1 : 4,$$

während die Entfernungen sich wie $2 : 1$ verhalten. — Zu demselben Resultate gelangte Coulomb mittelst Drehung von Kupfer- oder Silberfäden in seiner Drehwage.

b) **Der Fall, wenn beide Pole auf eine Magnetnadel einwirken**, ist nur ein specieller vom ersten. Gauss hat gefunden, dass wenn die Entfernung zweier Magnetstäbe im Verhältniss zur Länge sehr gross ist, die **Wirkung mit dem Kubus der Entfernung abnimmt.** Um sich davon zu überzeugen, nehmen wir einen Magnet NS (Fig. 151) und untersuchen seine Wirkung auf den Pol n eines zweiten Magnetes.

Fig. 151.



— Bezeichnet man die Distanzen Nn mit d, Sn mit d', mit μ die magnetische Masse in N und S, mit m die in n, so ist mit Zugrundelegung des Gesetzes der magnetischen Action die von N auf n ausgeübte Kraft

$F = \frac{m\mu}{d^2}$, und die zwischen S und n wirkende Kraft $F' = \frac{m\mu}{d'^2}$.

Durch Linien dargestellt sind diese Kräfte

$$F = nb,\ F' = na \text{ und die Resultirende } R = ns,$$

also $$R^2 = F^2 + F'^2 - 2FF' \cos\varphi \ldots (1),$$

setzt man $$NS = \delta,$$

so ist auch $$\delta^2 = d^2 + d'^2 - 2dd' \cos\varphi,$$

daraus $$\cos\varphi = \frac{d^2 + d'^2 - \delta^2}{2dd'}.$$

Substituirt man in die Gleichung *(1)* der Resultirenden die betreffenden Werthe, so erhält man

$$R^2 = \frac{m^2\mu^2}{d^4 d'^4}\left[d^4 + d'^4 - dd'.(d^2 + d'^2 - \delta^2)\right], \text{ oder}$$

$$R = \frac{m\mu}{d^2 d'^2}\sqrt{\left[(d - d')(d^3 - d'^3) + dd'\delta^2\right]} \ldots (2),$$

Wir wollen diesen allgemeinen Ausdruck der resultirenden Wirkung auf zwei Fälle anwenden: 1. wenn die Verlängerung der Axe einer kleinen Declinationsnadel in ihrer Ruhelage auf einem kurzen Magnetstabe senkrecht steht und ihn halbirt (Fig. 152), und 2. wenn die Verlängerung des Magnetstabes mit der Declinationsnadel einen rechten Winkel bildet und sie halbirt (Fig. 153).

Die Resultirende R_1 im ersten Falle erhält man, wenn man $d = d'$ setzt, und so ist

$$R_1 = \frac{m\mu\delta}{d^3} = \frac{Mm}{d^3} \ldots (3).$$

Im zweiten Falle ist $d - d' = \delta$; ist die Nadel in O und setzt man $CO = x$, so ist auch noch

$$d = x + \frac{\delta}{2}, \text{ und } d' = x - \frac{\delta}{2}.$$

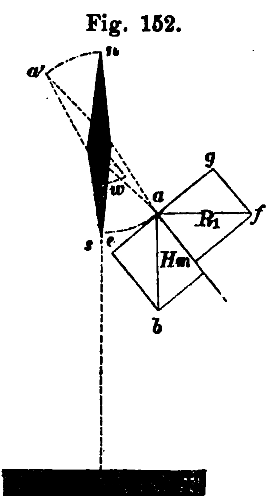
Durch Substitution dieser Werthe erhält man die Resultirende R_2 im zweiten Falle, wenn man die Grösse $\frac{\delta^2}{4}$ bezüglich $4x^2$ vernachlässigt,

$$R_2 = \frac{2m\mu\delta}{x^3} = \frac{2Mm}{x^3} \ldots (4).$$

In beiden Fällen nimmt also die Grösse der Resultirenden im kubischen Verhältnisse mit der Entfernung ab.

c) Um sich von der Richtigkeit des eben ausgesprochenen Gauss'schen, so wie des diesem zu Grunde gelegten Gesetzes der magnetischen Action überhaupt zu überzeugen, berechne man die Ablenkung einer Declinationsnadel in den beiden so eben angenommenen Fällen.

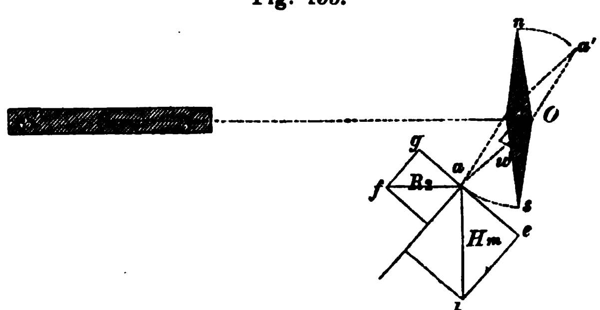
Fig. 152.



Die Nadel komme in Folge der gleichzeitigen Einwirkung der horizontalen Componente H des Erdmagnetismus und des Magnetstabes NS in der Lage aa' (Fig. 152 und 153) in's Gleichgewicht. Bemerkt man, dass sie H in den magnetischen Meridian hinein, R_1 wie R_2 aber senkrecht gegen den Meridian zu stellen bestrebt ist, und setzt $H = ab$, $R = af$, so sieht man, dass nur dann Gleichgewicht bestehen kann, wenn die von H und R senkrecht auf die Nadel entfallenden Componenten einander gleich sind, also wenn $ag = ae$ ist.

Bezeichnet man im ersten Falle (Fig. 152) den Ablenkungswinkel mit w, im zweiten (Fig. 153)

Fig. 153.



mit w_1, so hat man, wenn der in einem Pole befindliche Magnetismus der Nadel m ist,

$$\left.\begin{aligned} ae &= Hm \sin w \\ ag &= R_1 \cos w \end{aligned}\right\} \text{ also } R_1 = Hm \tang w \text{ im ersten, und}$$

$$\left.\begin{aligned} ae &= Hm \sin w_1 \\ ag &= R_2 \cos w_1 \end{aligned}\right\} \ldots R_2 = Hm \tang w_1 \text{ im zweiten Falle.}$$

Hat man beide Male die Nadel in die Entfernung x gebracht, so ist nach *(3)* und *(4)*

$$R_1 = \frac{Mm}{x^3} \text{ und } R_2 = \frac{2Mm}{x^3},$$

mithin $$\tan w_1 = 2 \tan w \ldots (5).$$

Zur Prüfung dieser Gleichung benützte Gauss eine fixe und eine bewegliche Magnetnadel von der Länge $0{\cdot}3^m$, deren Abstand wenigstens $1{\cdot}2^m$, d. i. das Vierfache ihrer Länge betrug. Gauss fand

$$\tan w = \frac{0{\cdot}043435}{d^3} + \frac{0{\cdot}002449}{d^5}$$

$$\tan w_1 = \frac{0{\cdot}086870}{d^3} - \frac{0{\cdot}001285}{d^5}.$$

Ist also die Entfernung d gegen die Dimensionen der Magnete gross genug, so ist der zweite Theil mit dem Nenner d^5 im Vergleich zum ersteren zu vernachlässigen, und man erkennt, dass die Tangente des Ablenkungswinkels im zweiten Falle gleich ist der doppelten Tangente vom ersten Falle, und dass die Anziehung zweier Magnete mit dem Kubus der Entfernung abnimmt, wenn diese Entfernung im Verhältniss zur Länge genug gross ist.

Durch diese Versuche hat Gauss die Richtigkeit der *Gl. (5)* nachgewiesen; es muss also auch die Voraussetzung richtig sein, dass die Wirkung eines Magnetpoles auf einen andern im quadratischen Verhältnisse mit der Entfernung abnimmt.

Das reducirte Drehungsmoment. Sobald also die gegenseitige Entfernung d hinlänglich gross genommen wird, erscheint $d^3 \tan . w = constant$. Nun ist aber

$$R_1 = Hm \tan . w = \frac{Mm}{d^3},$$

folglich ist das magnetische Moment M

$$M = Hd^3 \tan . w.$$

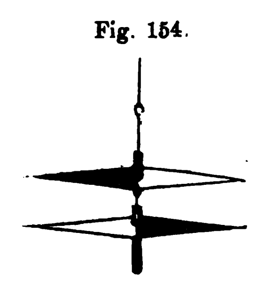
Das constante Verhältniss $\frac{M}{H} = d^3 . \tan . w$ nennt man daher das reducirte Drehungsmoment des fixen Magnetes. — Demnach ist die Ablenkung einer Magnetnadel durch einen fixen Magnet unabhängig von der Kraft m der Magnetnadel.

§. 9. Beurtheilung der magnetischen Kraft einer Nadel. Bei vielen magnetischen Versuchen wird vorausgesetzt, dass die

Nadel einen ungeänderten Magnetismus besitze; oft wieder braucht man eine bestimmte magnetische Kraft, die man der Nadel durch Hervorrufung eines gewissen Magnetismus geben will.

Hierüber ertheilen die Schwingungsversuche einen richtigen Aufschluss.

Fig. 154.



a) Astatische Nadel heisst jede bewegliche Magnetnadel, welche der Erdmagnetismus nicht zu drehen vermag. Braucht man Nadeln von bestimmter Stärke, wie dies bei der aus zwei gleich starken parallel aber entgegengesetzt gerichteten Magneten bestehenden astatischen Doppelnadel der Fall ist (Fig. 154), so streicht man sie mit einem Magnetstabe so lange, bis beide in derselben Zeit T gleich viele Schwingungen n machen. Denn sind ihre Schwingungszahlen ungleich n und n_1, so hat man allgemein für horizontale Schwingungen

$$\frac{T}{n} = \pi \sqrt{\frac{K}{HM}} \text{ und } \frac{T}{n_1} = \pi \sqrt{\frac{K}{HM_1}},$$

daher $$n^2 : n_1{}^2 = M : M_1;$$

damit nun ihre magnetischen Deckungsmomente $M = M_1$ seien, muss $n = n_1$ sein, d. i. zwei Nadeln, welche unter dem Einflusse einer und derselben Kraft in gleichen Zeiten gleichviel Schwingungen machen, haben gleiche magnetische Momente, also repräsentiren beide dieselbe magnetische Kraft.

Eine astatische Nadel braucht man, um sehr geringe Grade von Magnetismus oder von Electricität zu beobachten. Durch die Verbindung zweier gleich starken entgegengesetzt gestellten Nadeln wird die richtende Kraft der Erde geschwächt, aber es wird die geringste magnetische Kraft, welche einer Nadel näher gebracht wird als der andern, schon eine starke Ablenkung hervorrufen.

b) Das magnetische Moment $M = \mu\delta$ kann sich aber mit jedem der Factoren μ und δ ändern; der erstere ändert sich durch Einfluss der Wärme oder der in der Nähe vorkommenden Eisenmassen, der letztere in Folge einer andern Vertheilung der magnetischen Masse im Innern des Magnetes. Das sichere

Auskunftsmittel ist wieder die Untersuchung, ob sich die Schwingungszahl geändert hat oder nicht. Erhält man eine kleinere Schwingungszahl, so stärkt man den Magnet durch Streichen.

c) Beim Magnetisiren mittelst der Streichmethoden entscheiden die Schwingungsversuche, ob der neue Magnet vom Streichmagnet noch verstärkt werde oder nicht, wo dann das weitere Streichen mit demselben Magnet unnütz wäre.

Schwingungsversuche zeigen auch deutlich, dass sich die magnetische Einwirkung eines Magnetes auf eine Nadel nicht ändert, wenn man dazwischen eine hölzerne Wand anbringt. Die Wirkung wird nur dann geschwächt, wenn diese Wand von Eisen ist.

Will man aber über die Wirkungsfähigkeit der einzelnen Theile eines Magnetes einen Aufschluss haben, so braucht man ihn nur in Eisenfeilspäne zu stecken. An den beiden Enden bleiben die meisten hängen, gegen die Mitte zu nimmt die Menge derselben ab. Die einzelnen Eisenstückchen stellen sich an den Polen senkrecht auf die Magnetflächen, denn sie sind jetzt auch Magnete, gegen die Mitte senken sie sich mehr und mehr, bis die Wirkung verschwindet. Schön sieht man dies, wenn man die Eisenfeilspäne auf ein horizontal gehaltenes gespanntes Blatt Papier streut und einen starken Hufeisenmagnet darunter hält. Es kommen die sogenannten magnetischen Kraftlinien zum Vorschein. Diese Curven entstehen dadurch, dass das an einen Pol, z. B. *N* stossende Eisenstückchen selbst ein Magnet wird, der mit dem Pole *s* anliegt, und mit dem abgewendeten Pole *n* das nächste Stückchen in derselben Weise magnetisch macht. Das Umgekehrte geht vom andern Pole aus, so dass die Stückchen von beiden Seiten mit entgegengesetzten Polen einander gegenüber liegen und sich in Folge der Anziehung schliessen. Dies pflegt man mit grössern an den Polen angebrachten Eisenstückchen zu zeigen.

Dasselbe Resultat über die Vertheilung der wirkenden magnetischen Kraft geben die Schwingungen einer Nadel, der man verschiedene Querschnitte des Magnetes gegenüber hält; bei dem mittlern Querschnitte schwingt sie so, wie wenn der Magnet gar nicht da wäre.

Oefter zeigen Eisenfeilspäne über der Längsaxe eines Magnetes mehrere Pole an, d. i. Punkte, um welche sich die Curven gruppiren. Man nennt diese Zwischenpole Folgepunkte. Sie entstehen öfters bei längern Stäben, wenn man sie mittelst des einfachen Striches magnetisirt. Man kann sie aber auch künstlich hervorrufen, indem man aliquote Theile des Stabes mit entgegengesetzten Polen streicht.

Neuere Untersuchungen lehren, dass die magnetische Polarität der Theilchen, welche in der Mitte der Längsaxe eines Magnetes liegen, am stärksten entwickelt ist. Also ist die Vertheilung des Magnetismus im Innern des Magnetes wohl zu unterscheiden von der Wirkung des freien Magnetismus.

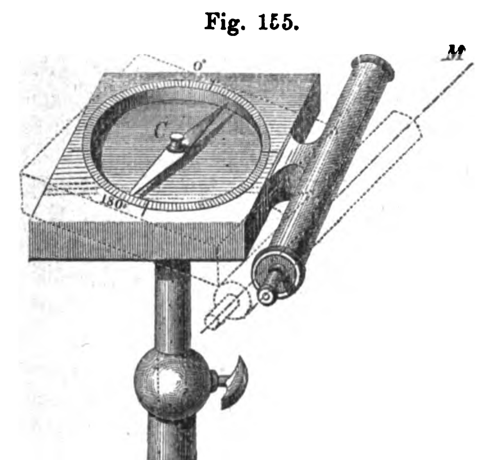
Aufgabe. Wie gross ist das magnetische Moment einer Nadel, welche in der Minute 240 Schwingungen macht, wenn man den Magnetismus einer andern, die nur 120 Schwingungen in der Minute macht, gleich Eins setzt?

§. 10. **Bestimmungsstücke des Erdmagnetismus.** Die Richtung und die Stärke oder Intensität der erdmagnetischen Kraft, so wie die periodischen Aenderungen derselben dienen zur Bestimmung des an einem Orte herrschenden Erdmagnetismus.

1. Die Richtung erfährt man durch genaue Bestimmung der an einem bestimmten Orte vorkommenden magnetischen Inclination und Declination; man bedient sich dazu eigener Instrumente, der Declinatorien und Inclinatorien.

a) Das Declinatorium (Fig. 155), dessen man sich zur Bestimmung der Declination bedient, wenn es auf keine grosse Genauigkeit ankommt, besteht im Wesentlichen aus einer Declinationsnadel, die sich mittelst eines Achathütchens auf einer Spitze von hartem Stahle dreht. Die Nadel befindet sich im Centrum eines rechteckigen Glaskastens, dessen zwei Seitenwände mit der durch den Nullpunkt der Kreistheilung und durch das Centrum hindurch gehenden Geraden parallel sind. Mit dieser Geraden ist auch die Axe eines an der Seite befestigten Fernrohres parallel.

Fig. 155.

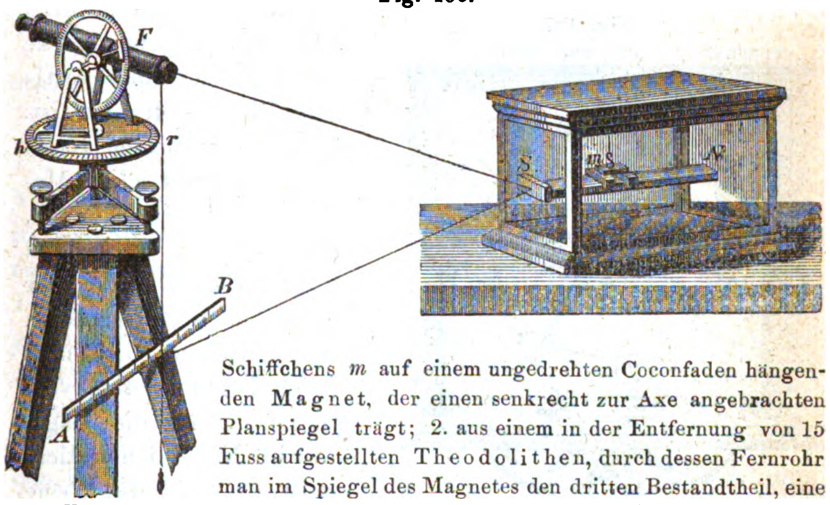


Will man die Declination eines Ortes messen, so stellt man daselbst zuerst den Glaskasten genau horizontal und zwar so auf, dass die Nadel auf Null zeigt, denn dann ist ihre Axe mit der des Fernrohres parallel. Nun dreht man das Fernrohr sammt dem Kasten im Horizonte herum bis man in seiner Axe ein bekanntes Meridianzeichen, z. B. die Spitze einer in grösserer Entfernung eigens errichteten Pyramide oder eines Thurmes, erblickt.

Der Winkel, welchen die Nadel alsdann mit der durch Null gezogenen Geraden bildet, ist die gesuchte Declination. — Hat man kein Zeichen im geographischen Meridian, so wählt man ausserhalb desselben einen erhabenen Punkt, die sogenannte Mire, dessen Winkelabstand vom Meridian bekannt und leicht abzurechnen ist.

Magnetometer von Gauss. Zur genauern Bestimmung der Declination, so wie der magnetischen Bestimmungsstücke überhaupt bedient man sich des Gauss'schen Magnetometers (Fig. 156); dasselbe besteht aus drei wesentlichen Bestandtheilen: 1. aus einem 4 bis 25 Pfund schweren mittelst des


Fig. 156.



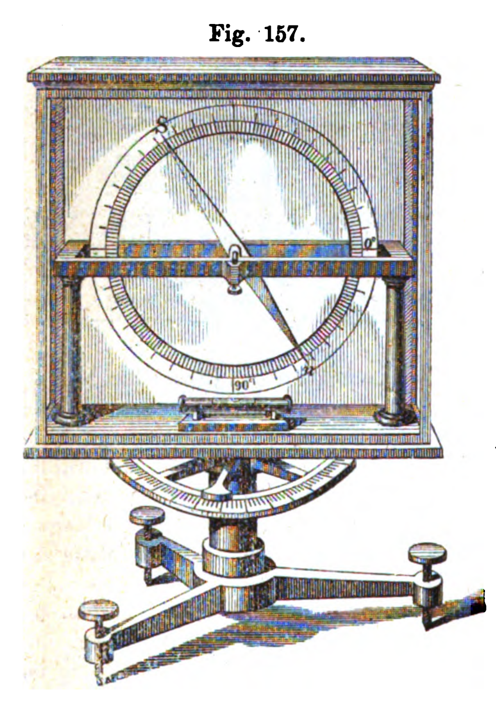
Schiffchens m auf einem ungedrehten Coconfaden hängenden Magnet, der einen senkrecht zur Axe angebrachten Planspiegel trägt; 2. aus einem in der Entfernung von 15 Fuss aufgestellten Theodolithen, durch dessen Fernrohr man im Spiegel des Magnetes den dritten Bestandtheil, eine am Fussgestelle des Theodolithen senkrecht auf die Axe des ruhenden Magnetes befestigte horizontale Scala AB beobachten kann. Von der Mitte des Objectivs hängt ein feines Loth über die Scala herab. Ist die Axe des Fernrohres im magnetischen Meridian, so ist sie parallel mit der des Magnetes und es decken sich, durch das Fernrohr angesehen, der von dem Faden des Lothes getroffene Theilstrich der Scala und der verticale Faden des Fadenkreuzes im Fernrohre. Ist dieses der Fall, so hat man, um die Declination zu finden, nur nöthig das Fernrohr auf einen bekannten Punkt im geographischen Meridian zu richten, der dabei auf dem Horizontalkreise durchlaufene Bogen ist die gesuchte Declination. Hat man auf eine Mire das Fernrohr gerichtet, so bringt man den Winkelabstand derselben vom geographischen Meridian in Abrechnung.

Auch die Veränderungen in der Declination können damit leicht genau bestimmt werden. An der Wand des eisenfreien Saales, in welchem das Magnetometer steht, ist dem Theodolithen gegenüber in gerader Linie mit der

einmal beobachteten Richtung der Magnetnadel ein verticaler Strich (Mire) angebracht. Wenn das Fadenkreuz des Fernrohrs diesen deckt, so hat die Axe des Fernrohrs immer wieder dieselbe Lage, wie bei jener ersten Bestimmung der Declination; macht jetzt in Folge einer eingetretenen Aenderung der Declination der Magnet einen Winkel mit jener ursprünglichen Richtung, so wird die Scala *AB* im Spiegel verschoben erscheinen, und aus der Anzahl der Scalentheile, von denen es berechnet ist, wie viele auf einen Drehungswinkel von einem Grad gehen, wird die Aenderung in der Declination gefunden.

b) Die Inclination wird mittelst des Inclinatoriums (Fig. 157) bestimmt. Das Inclinatorium besteht aus einer sehr empfindlichen Nadel, welche um ihre horizontale (so genau als möglich) durch ihren Schwerpunkt gehende Axe in der Ebene eines verticalen Kreises drehbar ist. Um den verticalen Kreis in den magnetischen Meridian stellen zu können, lässt er sich um seinen verticalen Durchmesser über einem horizontalen Kreise drehen. Gibt man durch Drehung dem verticalen Kreise die Lage, dass die Nadel sich vertical stellt, so steht die Ebene desselben auf dem magnetischen Meridian senkrecht und man hat nur nöthig eine Drehung um 90° vorzunehmen, um die Drehungsebene der Nadel in den magnetischen Meridian zu bringen. Liegt der Nullpunkt der Theilung in dem horizontalen Durchmesser desselben, so gibt der Bogen zwischen dem Nullpunkte und der Nordspitze der Nadel die Inclination an.

Fig. 157.



Die Inclination könnte man auch durch Schwingungsversuche erhalten, wenn sich eine Nadel so genau construiren liesse, dass der Schwerpunkt in der Axe liegt.

Es ist nämlich, wenn i die Inclination bedeutet (siehe §. 6),

$$Q = P . \sin i$$

$$\text{und} \quad \sin . i = \frac{Q}{P}.$$

Lässt man die Nadel zuerst bei ihrer verticalen Lage unter dem Einflusse der verticalen Componente Q, dann unter dem der ganzen erdmagnetischen Kraft P im magnetischen Meridian durch die Zeit T schwingen, und macht sie zuerst n, dann N Schwingungen, so hat man

$$\frac{T}{n} = \pi \sqrt{\frac{K}{Q . M}} \quad \text{und} \quad \frac{T}{N} = \pi \sqrt{\frac{K}{P . M}},$$

daraus

$$\frac{n^2}{N^2} = \frac{Q}{P} = \sin . i,$$

daher wäre die Inclination i bekannt.

2. Intensität des Erdmagnetismus.

a) Verhältniss der Grösse der erdmagnetischen Kräfte. Die Vergleichung der Schwingungsdauer eines und desselben Pendels in verschiedenen geogr. Breiten haben gelehrt, dass die Acceleration (Schwerkraft) vom Aequator gegen die Pole hin zunimmt. In ähnlicher Weise hat man durch Beobachtung der Schwingungen einer und derselben Magnetnadel an verschiedenen Orten die Aenderung der Kraft des Erdmagnetismus von Ort zu Ort beobachtet.

Auf die Verschiedenheit der Grösse der Kraft (Intensität) des Erdmagnetismus hat besonders A. Humboldt aufmerksam gemacht. Er fand, dass seine Declinationsnadel, welche bei seiner Rückkehr nach Paris noch die nämliche Kraft zeigte, am magnetischen Aequator in Peru nur 211 Schwingungen in 10 Minuten vollendete, während sie zu Paris in derselben Zeit 245 Schwingungen machte.

Ist aber T die Zeit, n die Anzahl der Schwingungen derselben Magnetnadel an dem einen Orte, wo die horizontale Componente des Erdmagnetismus H ist, n_1 aber an einem andern Orte, wo diese Componente H_1 ist, so hat man

$$\frac{T}{n} = \pi \sqrt{\frac{K}{MH}} \quad \text{und} \quad \frac{T}{{}_1n} = \pi \sqrt{\frac{K}{MH_1}}, \quad \text{also}$$

$$H : H_1 = n^2 : n_1^2, \quad \text{d. h.}$$

die Intensitäten verhalten sich wie die Quadrate der Schwingungszahlen.

Humboldt's Beobachtung gibt also für Peru und Paris

$$H : H_1 = 211^2 : 245^2 \text{ ungefähr } = 3 : 4.$$

Nimmt man z. B. die Intensität H_1 zu Paris als Einheit an, so hätte man für Peru $H = {}^3/_4$; und so für andere Orte.

b) Intensität des Erdmagnetismus nach absolutem Maasse. Wir haben bereits für die horizontale Componente den Ausdruck gefunden

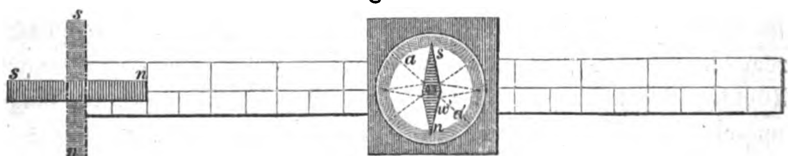
$$H = P \cos i,$$

daraus lässt sich die ganze magnetische Kraft $(1) \ldots P = \frac{H}{\cos i}$ für einen Ort bestimmen, wenn an diesem Orte H und $\cos i$ bekannt sind.

Horizontale Componente H. Um die Stärke der horizontalen Componente des Erdmagnetismus an dem Beobachtungsorte zu finden, bedarf es zweier Beobachtungsreihen, nämlich der Ablenkungs- und Schwingungsversuche mit einem und demselben Magnetstab vom bekannten Trägheitsmoment.

W. Weber hat einen einfachen und auf Reisen sehr bequemen Apparat (Fig. 158) angegeben, der ziemlich genaue Intensitätsbestimmungen des Erdmagnetismus möglich macht. Dieser

Fig. 158.



besteht aus einer Boussole, deren Nadel 60^{mm} lang ist, dann aus einem genau parallelepipedisch gearbeiteten Magnetstabe von 100^{mm} Länge und aus einem einen Meter langen getheilten Maassstabe, der so breit ist, dass man die Boussole darauf stellen kann.

Man bringt den Maassstab in eine genau horizontale fixe Lage senkrecht gegen den magnetischen Meridian, in die Mitte desselben setzt man die Boussole und an das Ende parallel mit seiner Länge den Magnet, beobachtet die Ablenkung der Magnetnadel und bestimmt ihre Entfernung x von der Mitte des Mag-

nets. Man wiederholt die Beobachtung des Ablenkungswinkels w oder w_1 nach Figur 152 oder 153 im §. 8.

Aus diesen Ablenkungsversuchen erhält man

$$x \ . \ \text{tang} \ . \ w = \frac{M}{H} \text{ oder } x^3 \ \text{tang} \ . \ w_1 = \frac{2M}{H} \ldots (2).$$

Dann hängt man den Magnetstab **horizontal** (mittelst eines Coconfadens) auf, lässt ihn **schwingen** und ermittelt aus einer Anzahl von Schwingungen seine Schwingungsdauer T. — Da bei horizontalen Schwingungen die horizontale Componente H auf ihn wirkt, so hat man seine Schwingungsdauer

$$T = \pi \sqrt{\frac{K}{MH}}, \text{ folglich } MH = \frac{\pi^2 K}{T^2} \ldots (3).$$

Wird diese Gleichung durch die Gl *(2)* dividirt, so erhält man für die horizontale Componente H den Werth

$$H = \frac{\pi}{Tx} \sqrt{\frac{2\,K}{x \ \text{tang} \ w_1}}.$$

a) **Absolutes Maass.** Zur Bestimmung der magnetischen Kräfte im **absoluten** Maasse nahm **Gauss** das Drehungsmoment von 1 **Milligramm** zur **Einheit** an, wenn das Milligramm am Ende eines Hebelarmes von 1 **Millimeter** von einer Schwerkraft angezogen wird, welche dem Körper in 1 **Secunde** die Geschwindigkeit von 1 **Millimeter** ertheilen könnte.

Nimmt man nach **Gauss** zur Einheit der Länge, der Zeit und der **Maasse**, das Millimeter, die Secunde und das **Milligramm** an, so drückt MH (Gl. 3) die Anzahl Milligramme aus, deren Druck auf einem 1^{mm} langen Hebelarm gleich ist der Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus den horizontal schwingenden Magnetstab zu drehen sucht.

Bezeichnet in diesen Einheiten gemessen a die Länge, b die Breite, p das Gewicht des parallelepipedischen Magnetstabes, der zu den Schwingungs- und Ablenkungsversuchen gedient hat, so ist sein Trägheitsmoment

$$K = \frac{a^2 + b^2}{12} . p.$$

Dadurch dass Gauss die **Maasse** von 1 Milligramm gleich **Eins** setzt, wird die Messung von der variablen Acceleration g der Schwere unabhängig.

Substituirt man diesen Werth K in der Gleichung *(4)*, so erhält man zur Berechnung der horizontalen Componente H im absoluten Maasse den Ausdruck

$$H^2 = \frac{\pi^2}{T^2} . \frac{a^2 + b^2}{6\,x^3 \ \text{tang} \ w_1} . p.$$

Hat der Magnetstab Figur 153 eine Länge von *101* Millimeter, eine Breite von *17·5* Millim. und ein Gewicht von *142000* Milligramm, braucht es zu einer

Schwingung die Zeit $T = 6 \cdot 67$ Secunden und gibt es der Nadel ns aus einer Entfernung $x = 450$ Millimeter eine Ablenkung $w_1 = 10^0\ 53'$, so erhält man

$$H^2 = \frac{3 \cdot 14159^2}{6 \times 6.67^2 \times 450^3} \cdot \frac{(101^2 + 1 \cdot 7 \cdot 5^2)}{\text{tang. } 10^0 5'3} \cdot 142000,$$

folglich

$$H = 1 \cdot 774,$$

d. h. die Kraft, mit welcher die horizontale Componente des Erdmagnetismus einen senkrecht auf den magnetischen Meridian gestellten Magnet von der magnetischen Kraft Eins im Horizonte dreht, ist gleich dem statischen Momente von 1·774 Milligramm am Hebelarm von 1 Millimeter.

W. Weber fand in Göttingen im J. 1845 den Werth $H = 1 \cdot 774$; zu derselben Zeit betrug in München $H = 1 \cdot 94$ und in Genf $H = 1 \cdot 98$.

b) Das Bifilar-Magnetometer von Gauss dient zur Beobachtung der horizontalen Componente des Erdmagnetismus und ihrer Aenderungen. Dieser besteht aus einem parallelepipedischen Magnetstab, der an zwei Fäden horizontal aufgehängt ist. — Denken wir uns zuerst, der so aufgehängte Stab wäre unmagnetisch, so wird derselbe eine solche Lage annehmen, bei welcher sein Schwerpunkt in der verticalen Ebene der Fäden liegt. Dreht man beide Aufhängepunkte und mit diesen die Ebene der Fäden horizontal herum, so wird der Stab immer wieder in die Verticalebene der Fäden in's Gleichgewicht kommen. — Ist aber der Stab magnetisch, so wird er nur dann in der Ebene der Fäden liegen, wenn diese selbst im magnetischen Meridian liegt. Dreht man aber jetzt an der Aufhängevorrichtung die Ebene der Fäden aus dem magnetischen Meridian, so wird der Magnetstab jetzt von zwei Kräften gerichtet. Die Torsion der Fäden sucht ihn in die Fädenebene, die horizontale Componente des Erdmagnetismus aber in die Ebene des magnetischen Meridian's zu stellen; daher gelangt er in einer Mittellage in's Gleichgewicht. Wird der Magnetstab mittelst der Fäden senkrecht gegen den magnetischen Meridian gestellt, so hat die Directionskraft der horizontalen Componente die grösste Wirkung auf ihn und hält der Torsion der Fäden das Gleichgewicht; daher wird die geringste Aenderung in der Stärke des Erdmagnetismus an der Ablenkung des Stabes beobachtet.

c) Resultate über den Erdmagnetismus. Zur Erforschung der Gesetze und Ursachen der magnetischen Variationen sind auf Al. Humboldt's Anregung seit 1829 an mehreren Orten über der ganzen Erdoberfläche magnetische Observatorien errichtet worden.

Die Declination ist sehr verschieden, sowohl dem Orte als der Zeit nach. Im Jahre 1829 war sie in Potsdam 17° 28', in Petersburg 6° 45', in Moskau 3° 6' westlich, in Tomsk 8° 42' östlich, in San Francisco 14° 55', in Rio Janeiro 2° 4' östlich. — In Europa ist gegenwärtig die Declination westlich, hat aber ihre täglichen, jährlichen und säcularen Aenderungen. Für die täglichen und die von den Jahreszeiten abhängigen Aenderungen nimmt man mit vieler Wahrscheinlichkeit die Sonnenwärme als Ursache an. Morgens ist die Ostseite wärmer als die Westseite, der Nordpol der Nadel geht westwärts, d. h. die Declination nimmt zu.

Die **Intensität** des Erdmagnetismus nimmt von den wärmern Gegenden nach den kältern zu, mit der Erhebung über der Meeresoberfläche aber ab. Die grösste in der Nähe des südlich von Neuholland gelegenen Pols beobachtete Intensität übertrifft die schwächste am magnetischen Aequator um das dreifache, während die Schwere an den geogr. Polen jene am Aequator nur um $\frac{1}{200}$stel übersteigt. Die mittlere Temperatur der nördlichen Halbkugel ist höher als der südlichen, und die mittlere Inclination am Aequator ist südlich. — Die Declination ist im April am grössten, im December am kleinsten.

Die **Inclination** ist ebenfalls sehr verschieden. Im Jahre 1834 betrug sie in Petersburg 71°, in Peking 54° 49′, in Rom 61° 42′ nördlich, dagegen in Rio Janeiro 13° 31′ südlich.

Um ein deutliches Bild der Declination, Inclination und Intensität des Erdmagnetismus zu geben und zugleich Hilfsmittel zur Orientirung während weiter Weltreisen zu gewinnen, hat man **physikalische Landkarten** construirt, wo Orte von gleicher Declination durch sogenannte **isogonische** Linien, Orte von gleicher Inclination durch **isoclinische** und Orte von gleicher Intensität durch **isodynamische** Linien verbunden dargestellt werden.

Da die Declination und Inclination, so wie die Intensität des Erdmagnetismus auf der ganzen Erde beständigen Veränderungen unterworfen sind, so können auch die magnetisch-physikalischen Landkarten nicht für immer, sondern nur für eine bestimmte Zeit gelten. So war z. B. im Jahre 1580 die Declination in Paris östlich und betrug 11° 30′, im Jahre 1663 war sie gleich Null und von dieser Zeit an westlich, erreichte 1814 ihr Maximum = 20° 34′ und nimmt seitdem wieder ab. Auch die Inclination nimmt daselbst jährlich um circa 3 Minuten ab und beträgt jetzt 66° 35′. In Berlin wurde nach A. Erman die horizontale Intensität H im Jahre 1805 durch die Zahl 1·6376, 1828 durch 1·7559 und 1846 durch 1·7757 vorgestellt. Diese letzterwähnten Veränderungen nennt man säculare Variationen; in Folge dieser können auch die magnetischen Erdpole keine festen Punkte sein, ihre Lage ändert sich, so wie die Linie ohne Inclination, d. i. der magnetische Aequator sich ändert. — Ausser den angeführten regelmässigen periodisch wiederkehrenden Variationen gibt er aber auch unregelmässige Störungen des Erdmagnetismus, z. B. beim Erscheinen eines Nordlichtes, bei vulkanischen Ausbrüchen, Erdbeben etc.

Die Erde hat zwei magnetische Pole, der eine liegt im Norden von Amerika bei der Mellvilles-Insel unter dem 70° 5′ n. B. und 280° 54′ ö. L., wo ihn Capitän J. Ross im Jahre 1831 wirklich erreichte, der andere im Süden von Van-Diemensland. J. Ross beobachtete 1841 unter 76° 6′ s. B. und 168° 11′ ö. L. eine Inclination von 88° 37′. — Nach Gauss kann die magnetische Kraft eines Kubikmeters Erde der vereinten Wirkung von acht einpfündigen Magnetstäben gleich gesetzt werden.

§. 11. **Diamagnetismus.** Schon Coulomb hat ausser **Eisen, Nickel** und **Kobalt** noch viele andere Körper gefunden, die vom Magnet angezogen werden. **Faraday** machte aber im Jahre

1845 die wichtige Entdeckung, dass alle starren und tropfbar flüssigen Körper von einem sehr kräftigen Electromagnet entweder angezogen oder abgestossen werden. Ein Eisenstäbchen stellt sich in die Verbindungslinie der Pole des wirkenden Magnetes. Faraday nannte diese Stellung die axiale, zum Unterschiede einer auf diese senkrechten oder äquatorialen, wie sie ein Wismuthstäbchen annimmt. Körper mit axialer Stellung nennt man nach Faraday magnetische, die mit äquatorialer aber diamagnetische Körper, welche vom Magnet angezogen werden, aber für sich nicht das Vermögen besitzen, andere anzuziehen, pflegt man auch paramagnetische zu nennen.

Zu den magnetischen Körpern gehören: Eisen, Nickel, Kobalt, Mangan, Platin, Cerium, Osmium und Palladium, ebenso fast alle Eisenverbindungen; zu den diamagnetischen: Wismuth, Antimon, Zink, Zinn, Quecksilber, Blei, Silber, Kupfer, Gold, Arsen, Flintglas etc.

Auch der Diamagnetismus nimmt mit der Wärmezunahme ab, wie der Magnetismus,

Nach den bisherigen Erfahrungen scheint es, dass die Grundstoffe entweder magnetisch oder diamagnetisch sind, die chemisch zusammengesetzten aber sich nach der Eigenschaft des vorwaltenden Bestandtheiles richten, daher indifferent erscheinen, wenn sich die entgegengesetzten Eigenschaften der Bestandtheile ausgleichen.

§. 12. **Hypothese zur Erklärung der magnetischen Erscheinungen; Magnetismus des Eisens und des Stahles.** Zur Erklärung der Erscheinungen der magnetischen Anziehung und Abstossung nahm man an, dass die materiellen Theile eines jeden Magnetes Träger von zweierlei Kräften sind, deren jede gleichnamige sich dadurch charakterisirt, dass die damit behafteten Theile einander abstossen, während die Wechselwirkung ungleichnamiger Kräfte aber in der gegenseitigen Anziehung besteht. Einige Physiker sehen diese zwei Arten von Kräften als unwägbare magnetische Fluida oder als einen Nordpol- und Südpol-Magnetismus an, die aber nicht von Theilchen zu Theilchen übergehen können; denn es lehrt die Erfahrung, dass die Bruchstücke eines Magnetes wieder beide Pole haben und als

vollkommene Magnete auftreten. Auch verliert der zum Magnetisiren gebrauchte Magnet nichts von seiner Kraft, während der magnetisirte Stahlstab magnetische Kraft gewinnt, ohne an Gewicht zugenommen zu haben. Es kann also kein Uebergaug von Materie stattfinden, daher zieht man den Schluss, dass bereits im natürlichen Zustande des Körpers jene magnetischen Kräfte vorhanden, aber nach aussen nicht thätig sind, und dass durch das Magnetisiren der natürliche Zustand aufgehoben und in den magnetischen verwandelt wird.

Recht anschaulich sieht man dieses am weichen Eisen, denn es wird schon in der Wirkungssphäre, ohne noch den Magnet berührt zu haben, magnetisch, verliert aber alsogleich den Magnetismus, wenn es ausser der Wirkung des Magnetes gebracht wird. Diese Wirkungsweise eines Magnetes auf einen im natürlichen Zustande befindlichen Körper nennt man das Magnetisiren durch Vertheilung oder Induction.

Den Widerstand des Eisens gegen die Erregung oder Vernichtung seines Magnetismus, sowie gegen die Aenderungen seines magnetischen Zustandes nennt man Coërcitivkraft.

Gegen die Widervereinigung der magnetischen Fluida wirken auch die Anker, bei deren Anwendung selbst das weiche Eisen den Magnetismus nicht ganz verliert. Die Ursache der Ankerwirkung liegt darin, dass die gegenüber liegenden ungleichnamigen Magnetismen des Magnetes und des Ankers sich anziehen und gleichsem binden. Man braucht daher die Anker bei künstlichen Magneten, um die Ausgleichung der Magnetismen auf diese Art zu verhindern.

Bedient man sich auch heutzutage noch der alten auf die unmittelbare Erscheinung der Anziehung und Abstossung angepassten Sprechweise, indem man vom nördlichen und südlichen oder vom positiven und negativen Magnetismus spricht, so ist man doch schon durch Thatsachen der Erfahrung und durch ihre Vereinbarung mit den bekannten Naturgesetzen zur Erkenntniss gekommen, dass es keine unwägbare magnetische Fluida, kein magnetisches Imponderabil gibt.

§. 13. **Aufhebung des Einflusses von Eisenmassen auf die Richtung der Magnetnadel.** Bringt man eine mehrere Fuss lange unmagnetische Stange von weichem Eisen in die Lage der Inclinationsnadel, so überzeugt man sich mit einer in ihre Nähe

gebrachten Magnetnadel, dass die Stange magnetisch geworden ist. Daraus erklärt sich, warum verticale Eisenstangen nach längerer Zeit andauernd magnetisch werden. Und so erhalten alle Eisenmassen je nach ihrer Lage zu den Weltgegenden einen gewissen Magnetismus, der seinen Einfluss auf eine in der Nähe befindliche Magnetnadel äussert und ihren natürlichen Gang stört. — Durch den Einfluss des Erdmagnetismus erhält nach Barlow selbst eine eiserne Kugel eine zur Richtung der magnetischen Erdkraft parallele magnetische Axe.

Auf den Schiffen, wo man die Richtung des Erdmagnetismus zur Orientirung anwendet, muss, wenn diese verlässlich sein soll, die durch Eisenmassen veranlasste Störung compensirt werden. Barlow zeigte zuerst, wie man diesen Uebelstand durch die Einstellung einer Eisenplatte, Compensator genannt, in der Nähe des Compasses beseitigt. Zu diesem Behufe bestimmen zwei Beobachter, der eine am Lande, der andere am Schiffe, die Unterschiede zwischen den Declinationen des Schiffscompasses und eines am Lande aufgestellten Compasses, in den verschiedenen Stellungen der Schiffsaxe gegen den Meridian. Diese Unterschiede werden aufgezeichnet, der Compass vom Schiff an's Land gebracht und an seinem Gestelle wird durch Versuche jene Einstellung des Compensators ermittelt, die bei jeder Drehung des Gestelles denselben Unterschied in der Declination hervorruft, wie die Eisenmassen auf dem Schiffe, wenn dieses um denselben Winkel gedreht wurde.

Wird der Schiffscompass in seine frühere Stellung auf das Schiff gebracht und der Compensator eingestellt, so addiren sich die durch beide bewirkten gleichen Störungen, wonach es leicht wird die wirkliche Richtung der Nadel anzugeben. Ist z. B. ohne Compensator die Declination 34^0 beobachtet worden, und wird sie durch den Compensator auf 38^0 erhöht, so ist seine Störung $38^0 - 34^0 = + 4^0$, also die von den Eisenmassen herrührende auch $+ 4^0$, somit die Declination $= 34^0 - 4^0 = 30^0$.

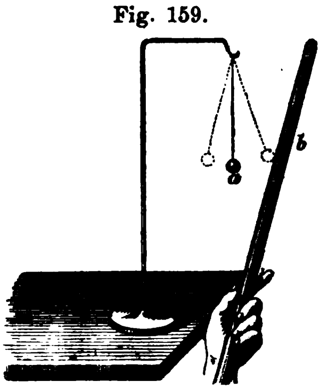
Siebenter Abschnitt.

Electricität.

§. 1. **Grunderscheinungen der Electricität.** Den Zustand der Körper, welche die Fähigkeit haben, leichte Körper aus der Ferne anzuziehen und nach erfolgter Berührung abzustossen, nennt man electrisch und die Ursache dieses Zustandes Electricität.

Diese Eigenschaft hat man im Alterthum an dem mit Tuch geriebenen Bernstein, der im Griechischen „Elektron“ heisst beobachtet; daher der Name.

Fig. 159.



Um zu erkennen, ob ein Körper electrisch ist oder nicht, bedient man sich der sogenannten Electroscope. Unter diesen hat das electrische Pendel die einfachste Einrichtung (Fig. 159); es besteht aus einem an einem Seidenfaden hängenden Kügelchen *a* von Hollundermark, welchem man den zu untersuchenden Körper, z. B. eine mit Tuch geriebene Glasstange *b* nähert.

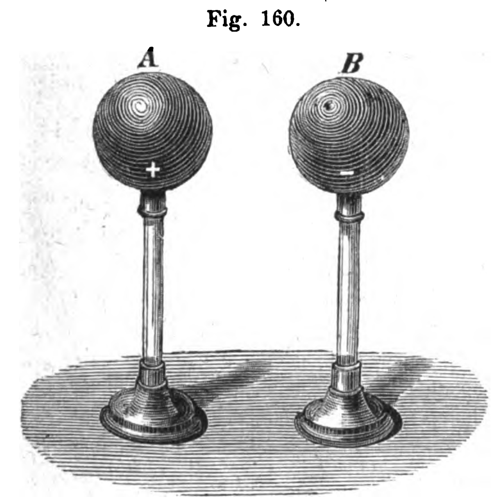
§. 2. **Gute und schlechte Electricitätsleiter, Isolatoren.** Ein electrischer Körper kann seinen Zustand einem noch unelectrischen Körper mittheilen; dabei kommt es aber auf die Fähigkeit an, die Electricität abzutreten und anzunehmen. Gewisse Stoffe, wie Glas, Harz, Seide nehmen in Berührung mit dem electrischen Körper nur an der Berührungsstelle Electricität an; sind sie aber selbst electrisch, so geben sie dieselbe ebenso hartnäckig ab. Solche Stoffe nennt man schlechte Electricitätsleiter. — Bei den Metallen und andern Körpern hingegen reicht schon die einfachste Berührung hin und sie nehmen oder geben gegenseitig alsogleich die vorhandene Electricität; man nennt sie deshalb gute Electricitätsleiter.

Damit ein guter Leiter die Electricität nicht an andere Körper abgebe, muss er von schlechten Leitern umgeben werden, d. h.

man muss ihn isoliren, daher heissen schlechte Leiter auch Isolatoren. Die besten Isolatoren sind: trockene atmosphärische Luft, trockenes Glas besonders im gefirnissten Zustande, Seide, Elfenbein, Schellack etc.

§. 3. **Die zwei entgegengesetzten electrischen Zustände.** Wird einem isolirten gutleitenden Kügelchen Electricität mitgetheilt von einer mit Tuch geriebenen Glasstange, so wird es von der electrischen Glasstange abgestossen; von einer mit Wollzeug electrisch gemachten Siegellackstange aber angezogen. Aus dieser Thatsache folgt, dass der electrische Zustand des Glases von dem des Harzes wesentlich verschieden ist. Man nennt die eine die Glas-, die andere die Harz-Electricität.

Fig. 160.



Stellt man zwei Pendelchen neben einander, theilt dem einen Glas-, dem andern Harz-Electricität mit, so ziehen sie sich an, aber es verschwindet nach erfolgter Berührung ihr electrischer Zustand vollständig, wenn beide gleichviel Electricität hatten; war aber das eine stärker electrisch als das andere, so zeigen beide einen schwachen Grad der stärkern Electricität. Aus dieser Thatsache folgt, dass sich Glas- und Harz-Electricität, wenn sie in gleichem Maasse zusammengeführt werden, ganz, in ungleichen Mengen aber theilweise aufheben, gerade wie zwei gleichartige Grössen mit entgegengesetztem Vorzeichen; daher nennt man die Glaselectricität die positive, die Harzelectricität aber die negative, und bezeichnet abkürzend die erstere mit $+ E$, die letztere mit $- E$.

Aus den erwähnten Thatsachen folgt, dass sich gleichnamig electrische Körper abstossen, ungleichnamig electrische aber anziehen, und dass gleichstarke entgegen-

gesetzte Electricitäten sich in ihren Wirkungen aufheben, d. h. neutralisiren, wenn sie in einem und demselben Körper vereinigt werden.

Durch dieses Gesetz werden wir in den Stand gesetzt, zu unterscheiden, welche Art der Electricität ein Körper besitze.

§. 4. **Electrisirung durch Vertheilung oder Influenz. Gebundene Electricität.** Ein guter Leiter kann durch blosse Fernwirkung eines bereits electrischen Körpers seinen natürlichen Zustand verlieren und electrisch gemacht werden; und diesen Vorgang nennt man Electrisirung durch Vertheilung. Stellt man zwei isolirte Metallkugeln A und B (Fig. 160) so aneinander, dass sie sich berühren, nähert der Kugel A von der linken Seite her eine negativ electrische Harzstange und entfernt (isolirt) die Kugel B, und gibt dann die Harzstange weg, so zeigt die Kugel $A + E$, die Kugel B aber $- E$.

Lässt man jedoch die Kugeln bei diesem Versuche in Berührung, so sind sie nach dem Versuche gar nicht electrisch.

Hat man aber die Kugel B von dem Wegziehen von A mit der Hand berührt, so zeigt sie selbst keine E, die Kugel A aber zeigt $+ E$, wie wenn man sie nicht mit der Hand berührt.

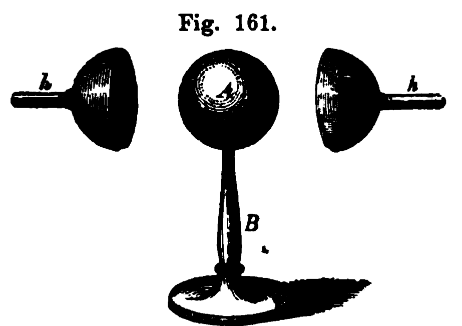
Dasselbe geschieht bei jedem Leiter, wenn man ihn berührt, während er in der Wirkungssphäre einer Electricität ist, er bekommt dadurch die entgegengesetzte Electricität.

Das Zurückkehren in den natürlichen Zustand belehrt uns, dass der Körper, während er electrisch war, gleichviel $+ E$ und $- E$ gehabt haben muss, denn $+ E - E = o$, und das Auftreten der entgegengesetzten Electricität in Folge des Ableitens in der Wirkungssphäre zeigt uns, dass die mit der auf ihn wirkenden gleichnamige Electricität abgeleitet wurde, also war sie in dem sogenannten freien Zustande, während die entgegengesetzte durch die Einwirkung gebunden gewesen sein musste. — Man hat hier den Begriff freier und gebundener Electricität und sieht die Ursache, warum ein electrischer Körper einen unelectrischen aus der Entfernung anzieht und nach der Berührung abstosst.

§. 5. **Hypothese zur Erklärung electrischer Erscheinungen.** Unter den verschiedenen Hypothesen hatte die von Robert Symmer unter der Benennung „dualistisches System"

aufgestellte Ansicht den meisten Anhang. Nach dieser Annahme sind in der Körperwelt zwei äusserst feine unwägbare Stoffe vorhanden, die positiv und negativ electrische Materie. Beide werden von allen Körpern angezogen; die Theilchen derselben Materie stossen sich ab, die Theilchen der zwei verschiedenen Materien ziehen sich gegenseitig an, und geben den Körpern diese Eigenschaften. Sind beide Materien in gleicher Menge vereinigt, so erscheint der Körper im natürlichen Zustande, waltet die eine der Materien vor, so zeigt sich der Körper electrisch. Durch die fernwirkende Kraft eines electrischen Körpers wird die gleichförmige Mengung der electrischen Materie eines zweiten Körpers aufgehoben und der Körper wird electrisch und zwar, wie wir sagen, durch Vertheilung etc. — In unsern Tagen, wo man bereits alle Erscheinungen auf mechanische Principien zurückzuführen versucht, erweist sich diese Hypothese als unhaltbar, daher bezeichnen wir nur die äussere Erscheinung mit $+E$ oder $-E$.

Fig. 161.



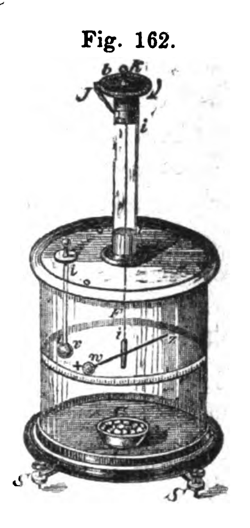
§. 6. **Bedingung des Gleichgewichtes und Gesetze der electrischen Fernwirkung.** Der Versuch mit einer messingenen Kugel (Fig. 161), die von zwei halbkugelförmigen Hüllen aus Messingblech eingeschlossen wird, zeigt, dass sich die Electricität im Gleichgewichte nur an der Oberfläche der guten Leitung anhäuft.

1. Coulomb hat mit seiner Drehwage (Fig. 162) nicht nur die Art der Anordnung oder Vertheilung der freien Electricität an der Oberfläche der Körper, sondern auch das Gesetz der Fernwirkung der Electricität nachgewiesen.

Man nimmt ein sogenanntes Probescheibchen, bestehend aus einem Scheibchen von Blattgold, welches an einem gut isolirenden Glas- oder Harzstiele sitzt, und berührt damit die zu untersuchende Stelle der Oberfläche des Körpers. Das kleine Scheibchen bildet an der kleinen Berührungsstelle einen Theil der Oberfläche des electrischen Körpers, daher erhält es genau

jene Electricitätsmenge, welche die untersuchte Stelle besitzt. — Die Stärke dieser Electricität misst man leicht an der Drehwage, indem man mit dem geladenen Scheibchen das isolirte drehbare Metallkügelchen *w* berührt und die durch Abstossung erzeugte Torsion anmerkt.

Fig. 162.



Solche Versuche lehren, dass die Electricität an einer gutleitenden Kugeloberfläche überall die gleiche Dichte hat; an anderen Oberflächen aber nimmt die Dichte mit der stärker werdenden Krümmung zu und erscheint am grössten, wo die Krümmung am grössten ist. So hat ein cylindrischer Metallstab an seinen abgerundeten Enden am meisten Electricität.

In Folge der Abstossung gleichartiger Electricität wird das Bestreben, die Oberfläche eines Leiters zu verlassen, mit zunehmender Dichte wachsen. Dieses von der Dichte abhängige Bestreben nennt man electrische Spannung. Daher beurtheilt man nach der Stärke der Spannung die Menge der an einer gewissen Stelle der Oberfläche vorkommenden Electricität.

Zur genauen Messung und Vergleichung electrischer Kräfte ist nicht nur eine festgesetzte Einheit der electrischen Wirkung, sondern auch eine gehörige Berücksichtigung der Verluste der Electricität in Folge unvollkommener Isolatoren nöthig.

Zur Einheit nehmen wir jene electrische Action, die von einer in dem Punkte A concentrirt gedachten freien Electricitätsmenge ausgeht und im Stande ist, einer gleich grossen in einem andern in der Entfernung $= 1$ befindlichen Punkte B concentrirten die bewegende Kraft $= 1$ zu ertheilen. Nimmt die Electricitätsmenge in A zu und wird $m$mal grösser, so wird auch die Wirkung $m$mal grösser; nimmt zugleich die Electricität in B um das $n$fache zu, so wird zugleich von B auf jede Electricitätseinheit in A eine $n$fache Wirkung ausgehen; also wird die gegenseitige Action in der Entfernung d sein

$$P = \frac{m \cdot n}{d^2}.$$

2. **Gesetz der electrischen Fernwirkung.** Coulomb hat (1787) das Gesetz der electrischen Fernwirkung durch folgenden Versuch nachgewiesen. Er machte das isolirte Kügelchen v (Fig. 162) stark electrisch, steckte es durch die Oeffnung i im Deckel ein, wo es dem isolirten Kügelchen w gleichnamige Electricität mittheilte und es sodann um einen Winkel von 36° forttrieb. Nun drehte Coulomb am oberen Kreise JK entgegengesetzt der Abstossung um 126°, bis der Ablenkungswinkel nur noch 18° betrug.

Innerhalb der Electricitätsgrenze ist die Kraft der Torsion proportional dem Drehungswinkel, der Torsion aber hielt die Abstossung der Electricität Gleichgewicht. Die Torsionen oder Abstossungen verhielten sich wie $36 : (126 + 18)$ oder wie $1 : 4$; während die gegenseitigen Entfernungen (im Bogen gemessen) sich verhielten wie $36 : 18$ oder $2 : 1$. Daraus folgt das Gesetz:

Die Abstossungskräfte der Electricität verhalten sich wie umgekehrt die Quadrate der Abstände.

Sind M und m zwei electrische Massen, vereinigt in zwei Punkten, deren Entfernung d ist, so hat man wie beim Newtonschen Gesetze die Kraft P der Fernwirkung

$$P = \frac{Mm}{d^2},$$

d. h. die Fernwirkung der Electricität wächst mit der Masse, nimmt aber mit der Entfernung im quadratischen Verhältnisse ab.

Wird die Dichte μ der freien Electricität m, die sich auf einer Fläche f befindet, 2, 3, ... $n$mal grösser, d. h. tritt zu $\mu = \frac{m}{f}$ noch $\mu = \frac{m}{f}$ etc., so erhält man 2μ etc. und die Electricität auf f ist $2m$, aber es wirkt m auf m abstossend nach dem Gesetze der gegenseitigen Action, also proportional $m \cdot m = f^2 \cdot \mu^2$, d. h. die electrische Spannung ist dem Quadrate der electrischen Dichte proportional.

Was den Verlust durch Isolatoren anbelangt, so überzeugte sich Coulomb, dass ein Schellackstängelchen von 20 Linien Länge und einer Linie Dicke schwache electrische Ladungen vollkommen isolire. Dadurch werden wir in den Stand gesetzt, den Verlust der Electricität an die Luft zu finden, welcher vorzugsweise durch die in derselben enthaltenen Wasserdünste herbeigeführt wird. Coulomb fand den in einer Minute eintretenden Verlust $^1/_{60}$ bis $^1/_{70}$ der mittlern Kraft, an feuchten Tagen oft $^1/_{10}$, weshalb an feuchten Tagen genaue Versuche unmöglich sind.

§. 7. **Electroscope und Condensatoren.** Um schwache electrische Spannungen, die nicht mehr ein einfaches Pendel zu bewegen vermögen, zu erkennen, bedient man sich der Electroscope und Condensatoren.

a) Das Bennet'sche oder Goldblatt-Electroscop besteht (Fig. 163) aus zwei schmalen gleich langen Goldstreifen, die am untern Ende eines im Halse einer Flasche isolirt eingelassenen Messingstäbchens aufgehängt sind. Das Stäbchen ist am obern Ende entweder mit einer polirten Messingkugel oder mit einer polirten und an den Rändern wohl abgerundeten Messingplatte *A*, Collectorplatte genannt, versehen. Berührt man die Collectorplatte mit einem schwach electrischen Körper, so wird ihr, dem Stäbchen und den Goldblättchen Electricität mitgetheilt, und die Blättchen stossen sich ab und divergiren. Hat der Körper eine merkliche electrische Spannung, so wirkt er schon aus der Ferne vertheilend, und die Blättchen divergiren in Folge der abgestossenen gleichnamigen Electricität.

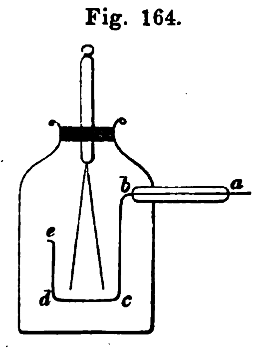
Fig. 163.



Ist bereits eine Divergenz in Folge einer mitgetheilten $+E$ vorhanden, so wird sie verstärkt, wenn man sich mit einem positiv electrischen Körper nähert, und geschwächt oder gänzlich aufgehoben, wenn der angenäherte Körper negativ electrisch ist. Darin liegt ein Mittel zur Nachweisung der Beschaffenheit der in einem Körper vorhandenen freien Electricität.

b) Setzt man an die Stelle der Goldblättchen Strohhalme, so hat man Volta's Strohhalm-Electroscop. Empfindlicher noch sind die neuern Electroscope von Andriessen und Dellmann. — Das Wesentlichste an Andriessen's Goldblatt-Electroscop (Fig. 164) ist ein seitwärts eingelassener Draht *abcde*, dem man Electricität mittheilt, wodurch man die inzwischen schwebenden Blättchen durch Vertheilung electrisch macht und sie zur Divergenz bringt, bevor man noch den zu untersuchenden Körper der Collectorplatte

Fig. 164.

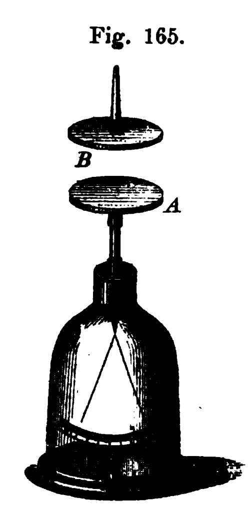


genähert hat; bei der bereits vorhandenen Divergenz wird der Einfluss einer sehr schwachen Spannung leichter bemerkbar.

Das Dellmann'sche ist eigentlich eine als Electroscop dienende Drehwage. — In allen Electroscopen soll Chlorcalcium vorhanden sein, um die Luft trocken zu erhalten.

c) Volta's Condensator (Fig. 165) stellt man aus einem Goldblatt-Electroscop einfach so her, dass man zur Collectorplatte

Fig. 165.



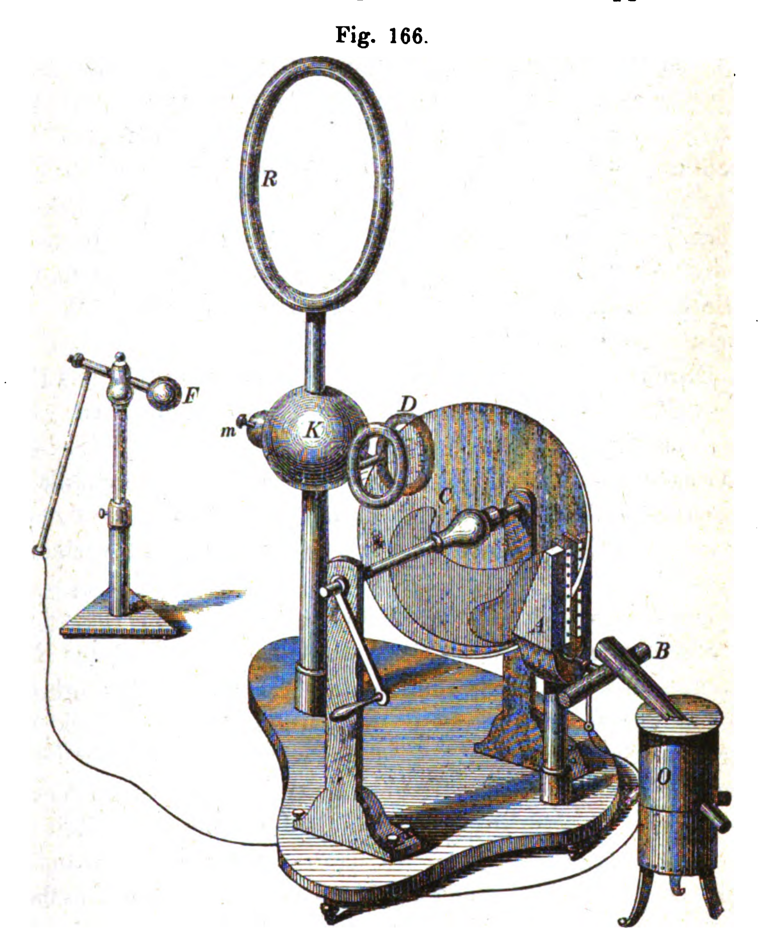
A eine gleichgestaltete mit einer isolirenden Handhabe versehene Oberplatte B anfertigt, und die Berührungsfläche überfirnisst. Spannungen, die so gering sind, dass man sie mittelst des Electroscops nicht mehr wahrnimmt, werden durch diese Vorrichtung verstärkt und wahrnehmbar gemacht. Wird nämlich der Collectorplatte Electricität mitgetheilt, und liegt die Oberplatte darauf, so wirkt diese Electricität durch die Harzschichte vertheilend auf die Oberplatte, es wird die entgegengesetzte Electricität angezogen und gebunden, die gleichnamige abgestossen und bei Berührung mit der Hand abgeleitet. Nach dem Principe der Wirkung und gleichen Gegenwirkung wirkt ebenso jene gebundene Electricität bindend auf die Collectorplatte zurück, daher bleibt auf ihr nur ein geringer Rest freier Electricität mit einer geringern Spannung übrig, und es kann von dem electrischen Körper ein neuer Theil E auf die Collectorplatte übergehen. Dieser hinzugetretene Theil wirkt wieder wie der erste, und so dauert die Anhäufung der E fort, bis die Spannung der freien E der Collectorplatte gleich ist jener des Körpers. Hebt man jetzt die Oberplatte ab, so wird die ganze früher gebundene Electricität frei, verstärkt die Spannung der vorhandenen freien E und bringt eine Divergenz hervor.

Die condensirende Kraft des Condensators wird etwas ersichtlicher in Zeichen. Es binde die E der Collectorplatte den $m$ten Theil, also $m \,.\, E$, so hat die Oberplatte $E_1 = mE$ gebundene Electricität. E_1 bindet wieder den $m$ten Theil, also $m \,.\, E_1 = m^2 . E$ in der Collectorplatte, mithin bleibt an ihr nur $E^2 - m^2 E = E(1 - m^2)$ freie Electricität übrig etc. Nach Riess hängt aber

die condensirende Kraft nicht nur von $E(1 - m^2)$, sondern auch von der Form und Grösse der Collectorplatte und der Lage der Zuleitungs- und der Ableitungsstelle etc. ab.

§. 8. **Electrisirmaschine.** Otto von Guerike verfertigte um das Jahr 1670 die erste Electrisirmaschine; diese bestand aus einer um eine horizontale Axe drehbaren Schwefelkugel, auf die man während der Drehung mit einem Tuchlappen drückte.

Fig. 166.



Die Electricitätsentwickelung war beträchtlich, ein Lichtstreifen begleitete sie.

Als Repräsentanten der gegenwärtig in Gebrauch stehenden Apparate können wir die Winter'sche Electrisirmaschine

(Fig. 166) hinstellen. Die Bestandtheile einer Electrisirmaschine sind: 1. ein schlechter Leiter, der gerieben wird, die geschliffene um eine horizontale Axe drehbare Glasscheibe *C*; 2. ein gutleitendes Reibzeug *A*, bestehend aus zwei amalgamirten ledernen Kissen; 3. ein guter Leiter, der Conductor *K*, in dem sich die Electricität ansammelt; 4. ein Funkenzieher *F*, der durch eine leitende Schnur mit dem sogenannten negativen Conductor *B* des Reibzeuges in Verbindung gesetzt wird. Sämmtliche Bestandtheile sind durch Glassäulen isolirt. Der dem Reibzeuge gegenüber an der Scheibe angebrachte Conductor hat zwei Arme *D*, zu beiden Seiten der Scheibe mit Spitzen versehen, die man (fälschlich) Sauger nennt. Die Reibkissen tragen Lappen von Wachstaffet, um den Verlust der Electricität an die Luft zu verhindern. Bei der Winter'schen Maschine ist in den Conductor ein gutleitender Ring *R* eingesetzt, wodurch die Spannung und mit ihr die Funkenlänge am Conductor vergrössert wird. — Winter braucht auch einen Ofen *O*.

Durch Reibung des Reibzeuges am Glase erhält das Reibzeug — *E*, die beständig durch gute Leiter in die Erde abgeleitet werden muss, damit sie sich nicht wieder mit der + *E* des Glases vereinige. Will man die negative Electricität des Reibzeuges ebenso gut wie die positive des Glases benützen, so muss der positive Conductor mit der Erde leitend verbunden werden.

Die Menge der am Conductor angesammelten Electricität wird desto bedeutender, je grösser die Glasscheibe und das Reibzeug, und je sorgfältiger der Conductor isolirt ist; hängt aber auch von der Geschwindigkeit der Drehung ab. Je stärker die electrische Spannung am Conductor wird, desto grösser ist der Verlust an die Luft, daher tritt ein Zeitpunkt ein, wo der Verlust in jeder Secunde ebenso gross wird als die in derselben Zeit entwickelte Electricitätsmenge, wo dann eine grössere Spannnng unmöglich ist. Die Spannung des Conductors wird mit dem damit in Verbindung gesetzten Henley'schen Electroscop (Fig. 167) erkannt.

Die Kraft einer Electrisirmaschine wird nach der am Conductor möglichen Spannung, d. i. nach ihrer grössten Funkenlänge beurtheilt. Winter rechnet die Funkenlänge auf $^2/_3$ des

Scheibendurchmessers. Die Funkenlänge wird auch Schlagweite und die Vereinigung der beiden Electricitäten durch die Luft Entladungsschlag genannt; die während der Entladung im Drahte vor sich gehende Ausgleichung der Electricitäten heisst man einen electrischen Strom, und den bei dem Entladungsschlage stattfindenden Strom den Entladungsstrom.

Fig. 167.

Armstrong hat im Jahre 1840 in England die Erfahrung gemacht, dass der aus dem Dampfkessel durch ein Rohr ausströmende Dampf durch Reibung an den Wänden des Rohres positiv electrisch wird, und verfertigte eine Hydro-Electrisirmaschine für das polytechnische Institut in London. Die Dämpfe strömen mit einer Spannkraft von beinahe sechs Atmosphären durch mehrere enge Röhren von hartem Holz gegen ein Drahtgitter, das mit dem Conductor leitend verbunden ist. Der Kessel erhält negative, der Conductor positive Electricität.

An der Electrisirmaschine beobachtet man leicht die Electricitätserscheinungen der Anziehung und Abstossung, den eigenthümlichen phosphorartigen Geruch (Ozon), das Knistern der auf gute Leiter überspringenden Funken, das Leuchten im Finstern, das verschiedene Leitungsvermögen der Körper, den Unterschied zwischen $+ = E$ und $- E$, die electrische Vertheilung etc.

Mit Hilfe der Electrisirmaschine kann man Versuche über die Wirkungen der Electricität anstellen, und zwar 1. über ihre mechanischen, 2. physiologischen, 3. chemischen Wirkungen, und 4. über ihre Licht- und Wärme-Erscheinungen.

Zu den mechanischen Wirkungen gehören die Erscheinungen der Anziehung und Abstossung, Korkkugeltanz, Puppentanz, electrisches Glockenspiel, die Wirkung der Spitzen an dem *S*förmigen Kreisel etc. und die Lichtenberg'schen Staub-Figuren (Fig. 168 a, b). Nähert man sich mit der Hand dem geladenen Conductor oder einer auf dem Isolirschemel stehenden electrisirten Person, so fährt ein Funke in den angenäherten Theil und verursacht einen stechenden Schmerz. — Schliessen mehrere Personen eine Kette, die vom Funkenzieher zum negativen Conductor reicht, so geht der Entladungsstrom durch sie und bringt, wenn er hinlänglich stark ist, Zuckungen in den Hand- und Armgeleken hervor.

a) Electrische Pistole. Mischt man ein Volum Sauerstoff mit zwei Volumen Wasserstoff und lässt einen Funken durchschlagen, so bringt er ihre chemische Verbindung zu Wasser hervor. — Werden auf einer kleinen Glasplatte zwei Staniolstreifen einander gegenüber befestigt und darauf Platindrähte gelegt, so dass nur ein kleiner Zwischenraum frei bleibt, in den man ein auf-

gelöstes Neutralsalz bringt, so scheidet sich an dem mit dem negativen Conductor verbundenen Platindrahte die Basis aus etc.

Fig. 168 a.

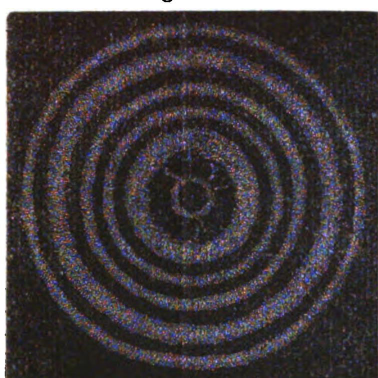
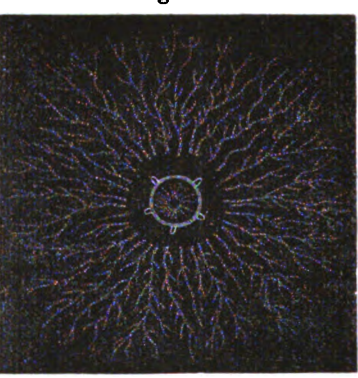
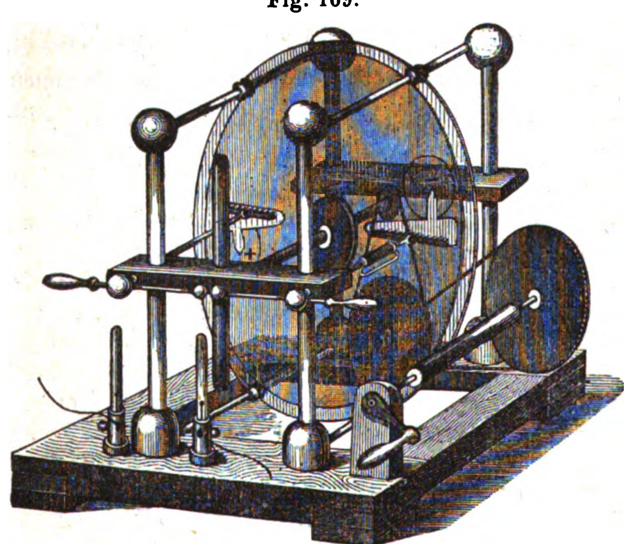


Fig. 168 b.



Schwefeläther, Weingeist, Colophoniumstaub, Schiesspulver etc. werden von dem Funken entzündet. Im luftverdichteten Raume ist das Licht des Funkens weiss und glänzend; im verdünnten röthlich oder violett. — Mit dem electrischen Ei zeigt man diese schönen Erscheinungen; im luftleeren Raume aber findet kein Uebergang der Electricität statt.

Fig. 169.



b) Die Electrophor- oder Influenz-Maschine. Die Figur 169 stellt die Influenz-Maschine von Holtz (1865) vor. Die dunkelstraffirte gefirnisste Glasscheibe lässt sich wie die Scheibe der gewöhnlichen Electrisir-

maschine (in der Richtung eines Uhrzeigers) drehen. Dicht hinter dieser Drehscheibe steht parallel eine grössere lichtstraffirte gefirnisste Glasscheibe, die Influenzscheibe.

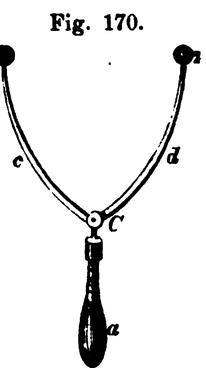


Fig. 170.

Die Influenzscheibe hat zwei kreisförmig gezeichnete Ausschnitte, die einander diametral gegenüber liegen und an den Rändern mit länglichen (weissstraffirten) Papierstücken belegt sind. Diese Papierstücke haben jedes eine freie in den Ausschnitt hineinragende Spitze. Dicht an diese Papierbelege ragen als Sauger dienende Messingkämme (Rechen) heran, und sind durch Messingstäbe mit den an der Vorderseite sichtbaren Messingkugeln verbunden, während diese Kugeln als positiver und negativer Conductor dienen.



Fig 171.

Man ertheilt einer Papierbelegung, z. B. der rechts, etwas negative Electricität mit einer Harzstange, diese negative Electricität vertheilt die natürliche Electricität der Drehscheibe an der zunächstliegenden Stelle. Die influenzirte negative Electricität ist frei und wird von dem Saugkamm rechts zu seiner Conductorkugel geführt. Dreht man nun die Scheibe, so kommt die bisher gebundene positive Electricität derselben Stelle aus der Wirkungssphäre der Belegung und wird frei. Kommt diese Stelle zum zweiten Saugkamm, so wird diese freie positive Electricität von ihm zur positiven Conductorkugel geführt, zugleich bekommt die Spitze der zweiten Papierbelegung auch etwas positive Electricität, und die Scheibe verliert die mitgebrachte positive Electricität. Nun wird die Drehscheibe an der positiven Belegung linker Hand negativ geladen, wie sie früher von der negativen rechter Hand positiv geladen wurde, und der Saugkamm rechts nimmt die negative Ladung auf, so wie der links die positive aufnahm.



Fig. 172.

Dreht man fort, so geht diese doppelte Ladung durch Influenz rasch vor sich und sammelt sich viel Electricität in den Conductoren an, und man bekommt zwischen diesen dieselben Funkenerscheinungen wie bei der gewöhnlichen Electrisirmaschine.

Die Wirkung der Influenzmaschine lässt sich durch Anwendung einer Leydnerflasche verstärken, die man so an die Ableitungsstäbe der Säugkämme legt, dass der eine Saugkamm mit der innern, der andere mit der äussern Belegung in Verbindung

steht. Dadurch wird die electrische Spannung vergrössert und Funkenentladungen befolgen das Gesetz der sogenannten Maassflasche (Fig. 172).

Die Influenzmaschine hat den grossen Vortheil, dass ihre Wirkung von der Feuchtigkeit der Luft nach Töpler's Versuchen unabhängig ist.

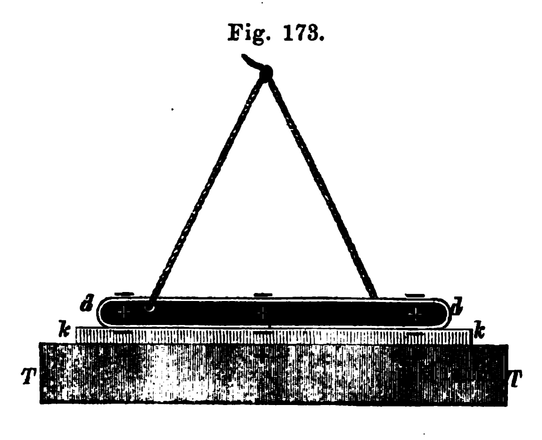
§. 9. **Verstärkungsgläser; electrische Batterie.** Die verschiedenen Verstärkungsgläser der electrischen Spannung, als die Franklin'sche Tafel, Leydner oder Kleist'sche Flasche, so wie die Lane'sche Maassflasche beruhen sämmtlich auf dem Principe des Condensators (Fig. 165); die Firnissschichte dort vertritt hier das Glas, die beiden Platten aber die äussere und innere Belegung mit Staniol. — Wird nun einer Belegung, die von der andern durch einen hinlänglich grossen isolirten Raum gesondert ist, Electricität mitgetheilt, so häuft sich wieder in Folge des gegenseitigen Bindens dieser und der geweckten entgegengesetzten E der andern Belegung die Electricität sehr stark an.

Leitet man die abgestossene E durch Berührung mit der Hand ab und nähert den Auslader (Fig. 170), den man an der einen Belegung einer Leydnerflasche (Fig. 171) angelegt hat, der andern, so überspringt ein sehr intensiver Entladungsfunke.

Die Lane'sche Flasche trägt nun den Auslader h (Fig. 172) selbst und entladet sich bei einer bestimmten Entfernung der Kugeln des Ausladungs- und Flaschenstabes, so oft wieder dieselbe Spannung eintritt; daher sie Maassflasche genannt wird.

Mehrere electrische Flaschen, deren innere Belegungen mit einander, die äussern mit einander leitend verbunden werden, bilden eine electrische Batterie.

Fig. 173.



Riess hat in neuester Zeit mit den Verstärkungsgläsern die Wirkungen des Entladungsschlages vorzüglich studirt und gefunden, dass die Schlagweite der Dichte proportional ist. Nach ihm ist ferner die Erwärmung des Drahtes dem Produkte aus der Quantität in die Dichte der Electricität direct proportional und unabhängig von der Länge

des Drahtes; bei gleich langen Drähten von demselben Metall, den Biquadraten ihrer Radien umgekehrt proportional. Die Wärmemenge, die von einem durchströmten Drahte frei wird, ist direct seiner Länge und umgekehrt seinem Querschnitte proportional. Starke Entladungen bringen den Draht zum Glühen und Schmelzen unter Funkensprühen.

§. 10. **Der Electrophor** besteht (Fig. 173) aus einem dünnen genau eben gemachten Harzkuchen *KK*, welcher in einem Teller *TT* von Eisenblech oder von mit Staniol überzogenem Holze gegossen ist und aus einem engern Metalldeckel *dd*, der sich mittelst Seidenschnüren isolirt abheben lässt. Wird der Harzkuchen mit einem Fuchsschweif oder Katzenfell gepeitscht, so erhält er $- E$; setzt man nun den Deckel mittelst der Schnüre so auf den Kuchen, dass er nirgends den Teller berührt, und berührt ihn, während er auf dem Kuchen liegt, so geht die abgestossene $- e$ des Deckels durch den Körper zur Erde, die $+ e$ wird aber gebunden und äussert sich als freie Electricität erst nach dem Abheben.

Weil der Kuchen ein schlechter Leiter ist und vollkommene Berührung nur an wenigen Punkten stattfindet, so binden sich die negative Electricität des Kuchens und die positive des darauf liegenden Deckels, wodurch das Entweichen der Electricität an die Luft verhindert und die Ladung sehr lange erhalten wird; dazu trägt auch die im Teller gebundene und wieder bindende $+ e$ bei. Dieser Apparat kann in vielen Fällen die Electrisirmaschine ersetzen, und man kann Leydnerflaschen damit laden.

§. 11. **Dauer des electrischen Entladungsfunkens und Geschwindigkeit des Stromes.** a) Zu diesen Untersuchungen construirte Wheatstone einen drehbaren Spiegel, der 50 Umdrehungen in einer Secunde machte, und liess vor dem Spiegel durch Entladung einer Leydnerflasche einen Funken entstehen. Die Zeit einer Umdrehung war also $= \frac{1''}{50}$ und die Zeit für den Drehungswinkel von $\frac{1}{4}$ Grad $= \frac{1''}{50.360.4} = \frac{1''}{72000}$. Während der Spiegel $\frac{1}{4}$ Grad durchläuft, legt das Bild nach den Regeln der Optik $\frac{1}{2}$ Grad zurück. Nun wurde durch zweckmässige Zusammenstellung die Einrichtung so getroffen, dass der Weg des

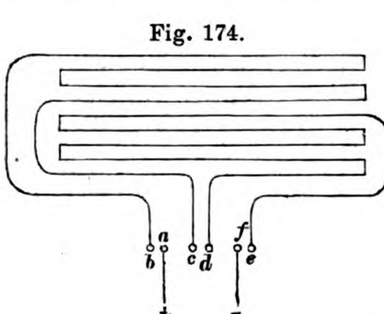
Bildes bei $^1/_2$ Grad Drehung nahezu einen Zoll betrug, bei $^1/_4$ Grad also $^1/_2$ Zoll. Würde der Funke $\frac{1''}{72900}$ dauern, so müsste man ihn auf dem ganzen Wege von $^1/_2$ Zoll sehen, d. h. er müsse als eine $^1/_2$ Zoll lange Lichtlinie erscheinen. Dies ist aber nicht der Fall, der Funke erschien noch wie im ruhenden Spiegel, somit beträgt die Dauer des Entladungsfunkens noch weniger als

$\frac{1}{72000}$ einer Secunde.

Gegenstände, die in schneller Bewegung sind, wie z. B. ein sich drehendes Rad, ein Farbenkreisel, eine schwingende Saite, scheinen still zu stehen, wenn sie im Dunkeln durch Entladung einer Leydnerflasche sichtbar gemacht werden, weil die Dauer des Funkens so klein ist, dass die bewegten Theile in dieser Zeit nicht merklich ihren Ort ändern.

b) Um die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Electricität in einem Kupferdrahte zu finden, befestigte Wheatstone auf einem Brette isolirte Metallkügelchen (Fig. 174) *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, sämmtlich in einer horizontalen Linie, so dass die Entfernung von *a* und *b*, *c* und *d*, *e* und *f* $^1/_{10}$ Linie, die Entfernung dieser Paare von einander aber viel mehr betrug. Von den Kügelchen *b* und *e* gingen zwei zu $^1/_4$ englische Meile lange Drähte zu den Kügelchen *c* und *d*. Wurde mit *a* und *f* die äussere und innere Belegung einer geladenen Leydnerflasche in Verbindung gesetzt, so sah man im ruhig stehenden Spiegel zwischen diesen Kügelchen drei Funken; machte aber der Spiegel 800 Umdrehungen in einer Secunde, mithin eine Umdrehung in $\frac{1''}{800}$, wovon auf $^1/_4$ Grad die Zeit $t = \frac{1''}{800.360.4}$ entfällt, so sah man drei parallele Lichtlinien, von denen die mittlere gegen die beiden äussern um $^1/_2$ Zoll, mithin um $^1/_4$ Grad, verschoben erschien. Der mittlere Funke musste also um die Zeit $t = \frac{1''}{800.360.4}$

Fig. 174.



später als die beiden Seitenfunken entstanden sein; während dieser Zeit t hat die Electricität aber $^1/_4$ englische Meile zurückgelegt, also die Geschwindigkeit der Fortpflanzung $c = \frac{s}{t}$,

$$c = {}^1/_4 : \frac{1}{800.360.4} = 288000$$ englische oder nahe 62000 Meilen.

Nach neueren Untersuchungen ist die Geschwindigkeit namentlich der galvanischen Electricität bedeutend geringer. — Die Lichtlinien zeigen an, dass die Entladung nicht momentan ist, und das gleichzeitige Erscheinen der beiden äussern Funken, dass die electrische Strömung gleichzeitig an beiden Belegungen beginnt und im Drahte gegen die Mitte fortschreitet.

Galvanismus.

§. 12. **Fundamentalversuche.** Bekanntlich gab Galvani, Professor zu Bologna, durch seine Froschschenkel-Präparate im Jahre 1790 die Veranlassung zu der von Volta, Professor zu Pavia, gemachten Entdeckung, dass sich die ungleichartigen Metalle bei ihrer gegenseitigen Berührung mit entgegengesetzten Electricitäten laden, derart, dass das eine Metall $+ E$, das andere $- E$ erhält und die Spannung der freien Electricität an beiden gleich gross ist. — Man nennt die auf diese Weise erregte Electricität Berührungs-Electricität, und die Ursache dieser Electricitäts-Entwicklung electromotorische Kraft. Die sich berührenden Electricitätserreger heissen Electromotoren.

Volta's Fundamentalversuch. Wird eine eben gemachte Zinkplatte zur Collectorplatte eines Goldblattelectroscops gemacht und darauf eine gleich grosse ebene Kupferplatte mit einer isolirenden Handhabe gesetzt, so dass sich beide ihrer ganzen Fläche nach metallisch berühren; so zeigt nach dem Abheben der Oberplatte, wenn die Plattenlagen parallel erhalten wurden, das Electroscop $+ E$, hingegen $- E$, wenn man die Kupferplatte zur Collectorplatte gemacht hat.

Leichter gelingt der Versuch mit dem Bohenberger'schen Electroscop.

Während die Platten auf einander liegen, zeigt sich im Electroscop keine Wirkung, also müssen sie gebunden sein, können

sich aber nicht vereinigen, weil die electromotorische Kraft, die ihre Vertheilung bewirkte, ihre Wiedervereinigung auf eine ähnliche Weise verhindert, wie das Glas einer Leydnerflasche oder die Harzschichte eines Condensators. Die electrische Spannung an den beiden Metallplatten kann ungeachtet der continuirlichen Wirksamkeit der electromotorischen Kraft nur eine gewisse von der Beschaffenheit der Electromotoren abhängige Stärke erlangen, daher kommt es hinsichtlich der Spannung der freien Electricität nicht auf die Anzahl der Berührungspunkte an, wohl aber bei der gebundenen, deren Menge mit der Anzahl der Berührungspunkte wächst.

Man ersieht aus dem Gesagten, dass die electrische Spannung der freien Electricität während der Berührung eine andere ist, als nach erfolgter Trennung der Platten; man versteht aber, wenn von der electrischen Spannung der Electromotoren die Rede ist, immer nur die der Berührung entsprechende Spannung.

§. 13. **Gesetze der electrischen Spannung.** Die Erfahrung hat folgende Gesetze der electrischen Spannung kennen gelehrt:

a) Die electrische Differenz ist bei ungeänderter Beschaffenheit der Electromotoren eine constante Grösse. Gesetzt es wären beide Electromotoren isolirt in metallische Verbindung gesetzt, und es sei $+ e$ die Spannung an dem einen, $- e$ an dem andern, so besteht eine electrische Differenz $e - (- e) = 2 e$. Werden die Electromotoren nicht mehr isolirt, sondern mit einer Electricitätsquelle verbunden, welche ihnen eine Electricität $\pm E$ gibt, so ist die electrische Differenz $+ e \pm E - (\pm E - e) = 2 e$, also constant.

b) Die meisten der Electricitätsleiter lassen sich hinsichtlich ihrer galvanischen Action in eine Reihe stellen, in der jedes vorangehende Glied mit jedem nachfolgenden in Berührung gebracht positiv, das nachfolgende aber negativ electrisch erscheint, und die electrische Differenz zweier beliebigen Glieder gleich ist der Summe der electrischen Differenzen der Zwischenglieder. Die Glieder dieser sogenannten Spannungsreihe sind: Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Kohle. — Die in dieser Reihe enthaltenen Electromotoren heissen Leiter erster Ordnung; diejenigen aber, welche den Bedingungen der

Spannungsreihe nicht genügen, nennt man hingegen **Leiter zweiter Ordnung.**

Zu den Leitern der zweiten Ordnung gehören die gesäuerten Flüssigkeiten, die bei den galvanischen Ketten in Anwendung kommen. Für diese gelten im Allgemeinen folgende Sätze:

1. Werden die Metalle einzeln in eine gesäuerte Flüssigkeit gestellt, so zeigt das Metall in den meisten Fällen am hervorragenden Ende freie negative Electricität; die Flüssigkeit aber ebenso starke positive Electricität.

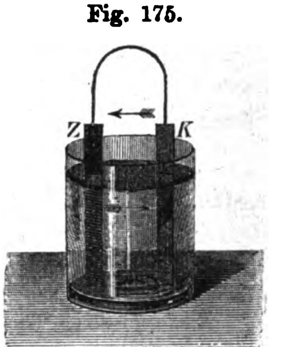
In verdünnter Schwefelsäure werden in abnehmender Stärke negativ electrisch: Zink, Eisen und Kupfer; positiv aber: Gold und Platin.

In verdünnter Salpetersäure werden negativ: Eisen und Zink, positiv: Platin und Gold.

In concentrirter Salpetersäure schwach negativ: Zink, positiv: Platin, Gold, Kupfer und Eisen.

Zink ist in verdünnter Schwefelsäure unter allen Metallen der stärkste Eelectromotor. In reiner Salpetersäure ist aber Platin stärker positiv electrisch als irgend ein anderes Metall.

Fig. 175.



Bezeichnet man die electromotorische Kraft zwischen Zink und Kupfer mit 100, so ist dieselbe in verdünnter Schwefelsäure für Zink 149, Zinn 88, Blei 77, Eisen 71, Kuper 13, Kohle — 16, Platin — 32. Letztere beiden werden nämlich positiv.

2. Stehen aber zugleich zwei sich nicht berührende Electromotoren in derselben Flüssigkeit, so erscheint der stärkere am hervorragenden Ende negativ, der schwächere aber positiv electrisch. — So wird Zink am hervorragenden Ende negativ, Kupfer aber positiv electrisch.

§. 14. **Volta'sche Ketten. Galvanischer Strom.** Verbindet man eine Zinkplatte mit einer Kupferplatte durch einen Kupferdraht, so hat man ein Volta'sches oder Zink-Kupferelement. — Stellt man das Element in eine verdünnte Schwefelsäure (Fig. 175), so entsteht eine Strömung der $+E$ vom Kupfer durch den Schliessungsleiter zum Zink. Da die electromotorische Kraft den Abgang gleich wieder ersetzt, so dauert diese Strömung der $+E$, galvanischer Strom genannt, ununter-

brochen fort und zwar mit gleicher Kraft, so lange die Beschaffenheit der Electromotoren sich nicht ändert.

Ein in einer leitenden Flüssigkeit befindliches Element heisst eine einfache Volta'sche Kette. Durch die reihenweise Verbindung der ungleichnamigen Electromotoren mehrerer einfacher Ketten erhält man eine zusammengesetzte Kette oder Volta'sche Batterie.

Sind alle Elemente der Kette leitend mit einander verbunden, so heisst die Kette geschlossen, sonst offen. — Die einfachste zusammengesetzte Kette ist die Volta'sche Säule. Sie besteht aus Zink-Kupferelementen, die in derselben Ordnung auf einander gereiht und durch dazwischen gelegte mit verdünnter Säure getränkte Tuchlappen leitend verbunden werden.

§. 15. **Electrische Spannung einer Volta'schen Säule und Kette.** Um die electrische Spannung einer zusammengesetzten Kette kennen zu lernen, betrachten wir eine Zink-Kupfersäule, die wir auf isolirenden Glasstäben ruhend annehmen. In jedem Elemente wird die Spannung $+e$ und $-e$ auftreten und sich über die guten Leiter verbreiten, so zwar, dass die electromotorische Kraft den durch Leitung herbeigeführten Verlust an electrischer Spannung ununterbrochen ersetzt; es erhalten also alle in leitender Verbindung stehenden Theile von jedem Elemente die Spannung e.

Nehmen wir zwei Elemente, bezeichnen Zink mit Z, Kupfer mit K und Leiter mit L, und rechnen wir die electromotorische Wirkung der als Leiter dienenden verdünnten Schwefelsäure mit, bezeichnen die electrische Spannung zwischen K und L mit e, zwischen Z und L mit e_1 und zwischen K und Z mit e_2 und fügen mit Rücksicht auf die Schliessung der Kette am Ende noch die erste Platte bei, so ist

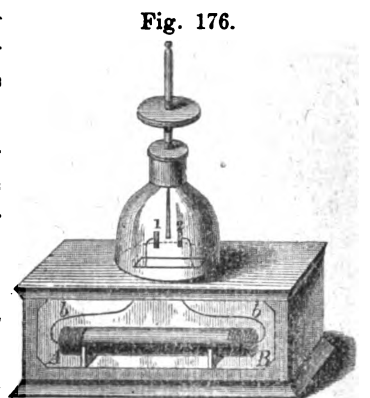
K_1	L_1	Z_1	K_2	L_2	Z_2	K_1	die Säule oder Kette
$+e$	$-e$	$-e$	$-e$	$-e$	$-e$	$-e$	.... von K_1 L_1
$+e_1$	$+e_1$	$-e_1$	$-e_1$	$-e_1$	$-e_1$	$-e_1$	.... » L_1 Z_1
$+e_2$	$+e_2$	$+e_2$	$-e_2$	$-e_2$	$-e_2$	$-e_2$	.... » Z_1 K_2
$+e$	$+e$	$+e$	$+e$	$-e$	$-e$	$-e$	.... » K_2 L_2
$+e_1$	$+e_1$	$+e_1$	$+e_1$	$+e_1$	$-e_1$	$-e_1$	.... » L_2 Z_2
$+e_2$	$+e_2$	$+e_2$	$+e_2$	$+e_2$	$+e_2$	$-e_2$	.... » Z_2 K_1
$+2(e+e_1+e_2)$	$+2(e_1+e_2)$	$+2e_2$	0	$-2e$	$-2(e+e_1)$	$-2(e+e_1+e_2)$	

Hieraus ersieht man, dass in einer isolirten Säule die electrische Spannung, mithin die Fähigkeit Leitungswiderstände zu überwinden, an den Endplatten, die man Pole nennt, am grössten ist und mit der Anzahl der Elemente im gleichen Verhältnisse wächst.

Da nach obigen Angaben die electromotorische Kraft zwischen verdünnter Schwefelsäure und Zink grösser ist als zwischen Zink und Kupfer, so ersieht man aus der electrischen Spannung an den Polen, welch' wesentlichen Einfluss die Flüssigkeit auf die Stromstärke hat.

Werden die Pole einer Volta'schen Kette durch Metalldrähte, Polardrähte genannt, verbunden, so geht der electrische Strom vom positiven Kupfer-Pol durch den Polardraht zum negativen Zink-Pol. Die electrische Strömung müsste während der Berührung mit gleicher Stärke fortdauern, weil die electromotorische Kraft jeden Abfluss gleich wieder ersetzt; aber es sind die Electromotoren Veränderungen unterworfen, welche wieder Aenderungen in der electromotorischen Kraft nach sich ziehen, und so ändert sich mit der Zeit auch die Stärke des electrischen Stromes.

Fig. 176.



a) Zamboni's trockene Säule enthält, im Gegensatze zu den flüssigen Leitern einer Volta'schen Kette, feste Leiter. Scheibchen von unechtem Gold- und Silberpapier werden in grosser Anzahl 1000 bis 2000 so aufeinander geschichtet, dass die heterogenen Flächen einander metallisch berühren. Die gehörig gruppirten Scheibchen werden in einem Glasrohre zusammengepresst und die Enden mit Metallplatten versehen, welche als Pole dienen. Als Leiter dient das Papier mit der in ihm vorhandenen Feuchtigkeit; die electrische Spannung ist nicht bedeutend, erhält sich aber sehr lange.

b) Bohnenberger benützte die trockene Säule zur Construction eines sehr empfindlichen Electroscopes, welches Fig. 176

in der von Fechner verbesserten Einrichtung darstellt. An die Polarplatten sind Drähte mit Metallkugeln *1* und *2* angebracht, zwischen diesen als Pole auftretenden Kugeln hängt genau in der Mitte ein Goldblättchen eines Condensators; bekommt es eine Electricität, so tritt gleich eine doppelte Wirkung in einem und demselben Sinne auf, denn es wird von einer Kugel angezogen, von der andern abgestossen. Dieses Electroscop ist daher sehr empfindlich zur Nachweisung des Vorhandenseins und der Art der *E.* Es eignet sich daher zum Volta'schen Fundamentalversuch.

Fig. 177.

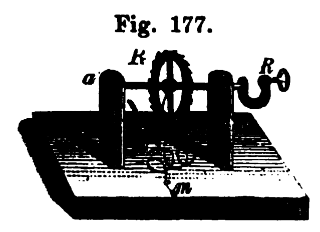
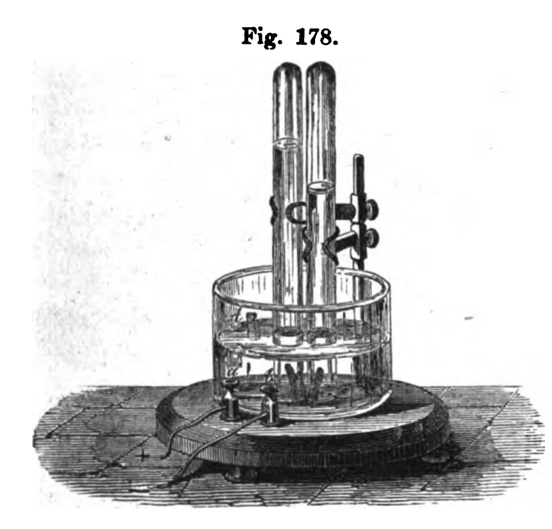


Fig. 178.



§. 16. Physiologische Wirkungen des galvanischen Stromes. Um von der Volta'schen Säule einen Schlag zu erhalten, befeuchtet man die Hände mit einer leitenden Flüssigkeit und berührt so die beiden Pole. Die Stärke des Schlages wächst mit der Anzahl der Plattenpaare, wie die Spannung der Säule.

Der Strom bringt jedoch eine Erschütterung nur im Momente der Schliessung oder Unterbrechung hervor; während die Kette geschlossen ist, geht der constante Strom ohne merkliche Wirkung auf die Nerven durch den Körper. Hierauf gründet sich die Wirkung des Blitzrades von Neeff (Fig. 177); durch dieses wird während des Drehens die Leitung bald geschlossen, bald getrennt, und so folgen beim schnellen Drehen die Trennungs- und Schliessungsschläge rasch aufeinander und können sehr empfindlich werden.

§. 17. **Chemische Wirkungen des galvanischen Stromes.** Diese sind für die electrischen Ketten selbst die wichtigsten. Den ersten Begriff von den chemischen Wirkungen gibt uns der Vorgang in einem Wasser-Zersetzungs-Apparate (Fig. 178). Durch den Boden des mit Wasser gefüllten Glasgefässes gehen zwei Platindrähte, die nur wenig von einander abstehen; diese werden mit den Polen einer starken Batterie verbunden und das Wasser wird zersetzt. Der Sauerstoff sammelt sich in dem Glasglöckchen über dem Drahtende, an dem der positive Strom in das Wasser eintritt. Diese Eintrittsstelle nennt man die positive Electrode oder auch Anode. Der Wasserstoff entwickelt sich an der Austrittsstelle des Stromes aus der Flüssigkeit. Diese Austrittsstelle heisst die negative Electrode oder Kathode. Beide Gase entwickeln sich in demselben Gewichts- und Volumverhältnisse, in welchem sie sich zu Wasser verbinden.

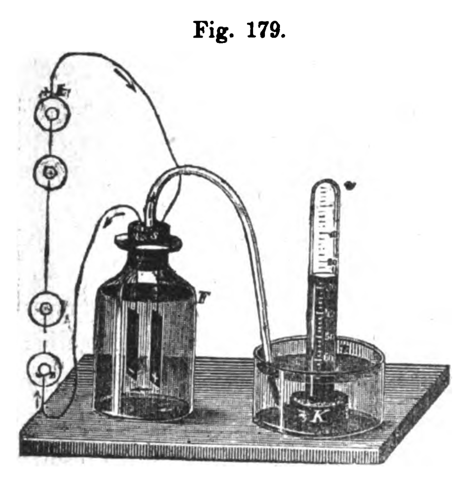
Gesetze der Electrolyse. Faraday hat die Gesetze der electrischen Zerlegung oder der Electrolyse der chemisch zusammengesetzten Körper zu ermitteln gesucht und gefunden, dass sich nicht alle zusammengesetzten Körper zerlegen lassen. Die zerlegbaren nennt man Electrolyten; die ausgeschiedenen Bestandtheile heissen Jonen.

Nur gute Electricitätsleiter im aufgelösten Zustande sind Electrolyten. Die basischen Bestandtheile der Verbindungen erscheinen meist an der Kathode, die sauern an der Anode ausgeschieden. — Hittorf hat jedoch beobachtet, dass ein und derselbe Stoff sowohl an der Anode als an der Kathode ausgeschieden werden kann, je nach der Verbindung, in der er war.

Leitet man denselben electrischen Strom durch mehrere Electrolyte zugleich, z. B. durch Röhren mit Wasser und Chlorsilber, so verhalten sich die in derselben Zeit ausgeschiedenen Gewichtsmengen von Wasserstoff und Silber wie *1 : 108*, während die von Sauerstoff und Chlor sich verhalten wie *8 : 35·5*, also stehen die gleichzeitig ausgeschiedenen Gewichtsmengen im Verhältnisse ihrer Aequivalente. Diese Thatsache nennt man nach Faraday das Gesetz der bestimmten electrolytischen Action.

Dieses Gesetz ist jedoch nicht allgemein giltig, denn Becquerel hat gezeigt, dass z. B. bei Kupferchlorür *(Cu_2Cl)* zwei Aequivalente Kupfer durch dieselbe Electricitätsmenge ausgeschieden werden, welche nur ein Aequivalent Sauerstoff ausscheidet.

Fig. 179.



Das Gesetz der electrolytischen Action umfasst aber auch die Thatsache, dass eine *n*mal grössere Electricitäts-Menge, die durch den Electrolyten geht, *n*mal mehr Bestandtheile ausscheidet, d. h. die Menge der in der Zeiteinheit ausgeschiedenen Bestandtheile ist proportional der Stromstärke. Man kann mittelst des Wasserzersetzungs-Apparates die Stromstärken vergleichen. Man stellt aber zu diesem Zwecke über beide Platindrähte nur eine einzige in gleiche Volumtheile getheilte Röhre (Fig. 179) und nennt einen solchen Apparat Voltameter.

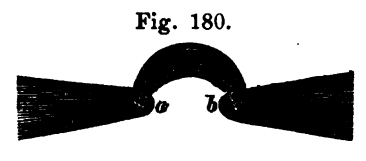
Der electrische Strom äussert auch in jedem Elemente seine electrolysirende Kraft; für je ein Gran Wasserstoffgas, das man z. B. im Voltameter in einer gewissen Zeit erhält, werden in jeder Zelle der Kette 9 Gran Wasser zerlegt, so dass an der Zinkplatte 8 Gran Sauerstoff erscheinen, die sich mit einem Aequivalente Zink, d. i. mit 32·5 Gran zu Zinkoxyd verbinden. Hat die Kette 10 Plattenpaare, so werden in der Zeit, in welcher 1 Gran Wasserstoffgas im Voltameter erzeugt wird, 325 Grane Zink verbraucht. — Ergibt es sich, dass in einer Zelle auf 9 Gran Wasser, die zerlegt werden, mehr als 32·5 Grane Zink verbraucht werden, so kann dieser Mehrverbrauch nur von gewissen localen Actionen herrühren, die man durch Amalgamiren der Zinkplatten am meisten beseitigen kann.

§. 18. **Licht- und Wärmeerscheinungen des galvanischen Stromes.** Wird der electrische Strom einer starken Batterie durch einen feinen Eisendraht geleitet, so erscheint dieser weissglühend und verbrennt unter lebhaftem Funkensprühen. Der Strom erhitzt schlechte metallische Leiter mehr als gute. Die Wärmeentwickelung ist eine Folge der Widerstände, welche der electrische Strom im Leiter zu überwinden hat.

Joule und Lenz haben gefunden, dass die Erwärmung des Drahtes in gleichem Verhältnisse mit dem Widerstande, den er dem Strome entgegensetzt, und mit dem Quadrate der Stromstärke wächst. — Nach Clausius richtet sich die Erwärmung auch nach der verschiedenen Wärmeabgabe des Drahtes an die verschiedenen Mittel, die ihn umgeben.

Befestigt man an den Enden starker Polardrähte kegelförmige Kohlenspitzen, und bringt die Spitzen in Berührung, so entsteht bei entsprechender Trennung eine blendende Lichterscheinung (Fig. 180), welche die beiden Spitzen in einem Bogen verbindet und sich im luftverdünnten Raume sehr prachtvoll darstellt. Man nennt dieses intensive Licht das Solarlicht.

Fig. 180.



Die electrische Entladung wird durch die von einer Spitze zur andern übergeführten Kohlentheilchen bewirkt. Da bei Metallen die Zertheilung der Substanz viel schwerer vor sich geht, so erscheint der Bogen nicht so gross. Gibt man der negativen Electrode die Form einer Platte und stellt ihr die zugespitzte andere Electrode gegenüber, so bildet die übergeführte Substanz an der Platte einen Ring, dessen Mittelpunkt der Spitze entspricht.

Fizeau's und Foucault's vergleichende Untersuchungen über die Intensität des Sonnen-, Solar- und des Drümond'schen Lichtes ergaben das Verhältniss 1000 : 235 : 6·8. Das grelle Licht, die kurze Dauer einer unveränderlichen Stromstärke, so wie die Kostspieligkeit stehen der Benützung des Solarlichtes zur Beleuchtung entgegen. Vor diesem Lichte wirft die Kerzenflamme einen Schatten, in welchem ihre Schichtung sichtbar ist.

Das Erglühen eines in den Schliessungsleiter eingeschalteten Eisen- oder Platindrahtes benützt man nach Robert's Verfahren zum Sprengen von Felsen, besonders unter Wasser. Zu diesem Zwecke werden die isolirten Enden eines dicken Polardrahtes zusammengewunden bis auf zwei Stücke *a* und *b* (Fig. 181), zwischen die 1/2 Zoll langer feiner Eisendraht eingeschaltet wird. Diese Vorrichtung wird mit Pulver umgeben in's Bohrloch versenkt, letzteres mit Sand oder Werg angefüllt, und durch die Schliessung der Kette das Pulver entzündet. Bei militärischen Minensprengungen zieht man in neuerer Zeit die Reibungselectricität der galvanischen vor.

§. 19. Constante Ketten; Ursache der Stromänderung. Die Ursache der Stromänderung liegt zunächst in den chemischen Wirkungen der Volta'schen Kette selbst. In der geschlossenen Kette wird nämlich das Wasser der verdünnten Säure oder Salzlösung in seine Grundstoffe zerlegt, der Wasserstoff erscheint an der Kupfer-, der Sauerstoff an der Zinkplatte und oxydirt das Zink, selbst wenn es amalgamirt ist. — Die Belegung der beiden Platten mit den ausgeschiedenen Glasbläschen hindert die unmittelbare Berührung der Platten mit der Flüssigkeit, erschwert die Leitung und schwächt den Strom, indem durch die electromotorische Wirkung der Gase ein Gegenstrom entsteht. — Das gebildete Zinkoxyd verbindet sich mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Zinkoxyd. Dieses Salz löst sich in der Flüssigkeit auf und wird durch den durchgehenden electrischen Strom abermals zerlegt, und zwar wird das Zinkoxyd an der Kupferplatte ausgeschieden und von dem daselbst im Entstehungszustande befindlichen Wasserstoff desoxydirt; daher setzt sich metallisches Zink auf der Kupferplatte ab und überzieht theilweise ihre Oberfläche. Dadurch wird die Beschaffenheit der Electromotoren, mithin auch der Strom geändert und geschwächt, besonders da noch ein secundärer dem ursprünglichen entgegengesetzter Strom durch die an der Kupferplatte haftende electromotorisch wirkende Wasserstoffschichte entsteht.

Fig. 181.

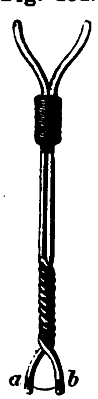
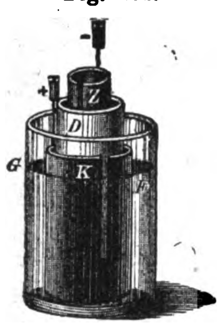


Fig. 182.



Diese Veränderlichkeit der Volta'schen Kette veranlasste die Construction sogenannter constanter Ketten, wie der von Daniell, Bunsen, Grove, Smee, Meidinger etc., bei denen die angeführten Ursachen einer Stromschwächung möglichst vermieden werden.

Bei den Ketten von Daniell (Fig. 182), Bunsen und Grove werden in jedem Elemente zwei flüssige Leiter angewendet. Eine der Flüssigkeiten befindet sich gewöhnlich in einem gläsernen Cylinder, in welchen man einen kleinern Cylinder meist aus porösem Thon einsetzt und ihn mit einer andern Flüssigkeit füllt

als den äussern. Der positive Electromotor ist überall Zink, eingetaucht in verdünnte Schwefelsäure; der negative ist bei der Daniell'schen Kupfer, umgeben von einer gesättigten Kupfervitriollösung; bei der Bunsen'schen Kohle in concentrirte Salpetersäure; bei der Grove'schen Platin, eingetaucht in concentrirte Salpetersäure.

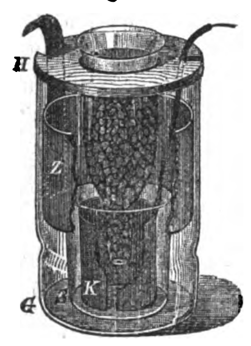
Die Smee'sche Batterie hat keine innern Gefässe, die beiden Electromotoren Zink- und mit Platinmohr überzogene Silberplatten sind in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht, die an letztern erscheinenden Wasserstoffbläschen legen sich nicht an, sondern steigen in der Flüssigkeit empor.

In der Daniell'schen Kette wird der aufgelöste Zinkvitriol durch das Diaphragma (poröse Wand) verhindert, in die andere Zelle zu gehen, daher am Kupfer keine Ausscheidung von Zink stattfindet; aber es erscheinen daselbst Wasserstoff und Kupferoxyd des Kupfervitriols, welches desoxydirt wird, und es setzt sich metallisches Kupfer an der Kupferplatte ab, weshalb die Wirksamkeit der Daniell'schen Kette länger ungeschwächt fortdauert, wenn die Kupfervitriollösung stets gesättigt erhalten wird. In der Bunsen'schen und Grove'schen Kette entzieht bei hinreichender Concentration der Säure der ausgeschiedene Wasserstoff der Salpetersäure einen Theil Sauerstoff, wodurch Wasser und Stickstoffoxydgas entsteht; letzteres entweicht und verwandelt sich an der Luft in salpetrigsaure Dämpfe. Also bleibt der negative Electromotor frei von Bläschen und wird von keinem andern Stoffe überzogen. Ihre Wirksamkeit ist auch wegen des grossen Abstandes ihrer Electromotoren in der Spannungsreihe sehr kräftig.

Die Kette von Meidinger. In dem Glasgefässe *HG* (Fig. 183) welches unten etwas enger ausläuft, ist ein Zinkcylinder *Z* oben hineingehängt. Auf dem Boden dieses Gefässes steht ein kleineres Glas, worin sich eine Kupferplatte *K* befindet, von der ein mit Guttapercha überzogener Kupferdraht oben aus dem Deckel hervorragt. In den hölzernen Deckel ist ein kleines trichterförmiges Glasgefäss eingesetzt, welches bei der Kupferplatte mündet. Dieser Trichter wird mit Krystallen von Kupfervitriol, das grosse Gefäss aber mit Bittersalzlösung (1 Gewichtth. Bittersalz und 6—10 Gwth. Wasser) gefüllt. Indem sich die Kupfer-

krystalle auflösen, sinkt diese Lösung, weil sie schwerer ist als die übrige Flüssigkeit, in dem kleinen Bodengefässe nieder und umgibt die Kupferplatte.

Fig. 183.



Durch diese Vorrichtung wird die Kupferlösung von der Berührung mit der Zinkplatte und dadurch der Niederschlag des Kupfers am Zink verhindert. Diese Kette ist sehr constant und bequem. Sind die Kupfervitriolkrystalle verbraucht, so ersetzt man sie; die Bittersalzlösung kann nahe ein Jahr verwendet werden, bevor die gänzliche Erneuerung nothwendig wird.

Die neue Bunsen'sche Zink-Kohlenkette. Als Flüssigkeit wird eine concentrirte Lösung von saurem chromsauren Kali verwendet, welcher man wenigsten $^1/_{12}$ Volumtheil concentrirte Schwefelsäure zusetzt. Beide Platten sind wie bei der Smee'schen Kette in diese eine Flüssigkeit eingetaucht.

Ein Element dieser Kette ist mehr als um das doppelte stärker als ein gleiches Element der älteren Kette von Bunsen.

Der Strom der Kette bleibt lange constant und hat nach Töpler keinen Polarisationsstrom.

Ungeachtet dieser Vortheile ist die Kette billiger als die Smee'sche. Wird der Strom beim Gebrauche schwächer, so kann man, bevor noch die ganze Flüssigkeit erneuert werden muss, sie durch Nachgiessen von Schwefelsäure wieder kräftiger machen.

a) Galvanismus als Schutz vor Oxydation. In einer galvanischen Kette wird immer nur die Zinkplatte oxydirt und zerstört, während der zweite mit ihr verbundene Electromotor, sei es Kupfer oder Eisen unversehrt bleibt. — Man kann daher Kupferplatten z. B. auf den Schiffen vor Zerstörung schützen, wenn man sie mit Zinkplatten in Berührung erhält. — So schützt man eiserne Soolpfannen mit Zinkstreifen. — Warum aber rosten eiserne Nägel an Kupferdächern so schnell?

b) Passivität des Eisens. Schönbein fand, dass Eisen, welches kurze Zeit mit dem positiven Pole einer Volta'schen Kette in Berührung war, von verdünnter Salpetersäure nicht wie gewöhnlich angegriffen wird.

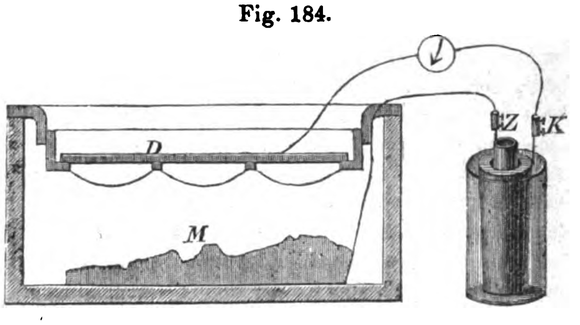
Diese Eigenschaften nennt man Passivität des Eisens. Das Eisen erlangt dieselbe auch, wenn man es an einem Ende so lange roth glüht, bis es etwas oxydirt erscheint.

Die Ursache der Passivität liegt darin, dass die Oxydschichte, welche das Eisen bedeckt, negativ, das Eisen selbst aber positiv electrisch ist, — und der negativ electrische Bestandtheil oxydirt nicht weiter.

§. 20. **Galvanoplastik.** Auf der electrolytischen Action des electrischen Stromes beruht die Galvanoplastik, die Galvanographie, das galvanische Vergolden und Versilbern.

a) Unter Galvanoplastik versteht man das Verfahren, auf electro-chemischem Wege an ihrer Oberfläche leitend gemachte Gegenstände mit einer Kupferschichte zu überziehen und so eine genaue plastische Abbildung herzustellen. Jacobi und Spencer machten gleichzeitig die Entdeckung, dass Kupfer aus dem Kupfervitriol an den Kupferplatten der Daniell'schen Kette sich als eine gleichmässig compacte Masse abscheidet, die sich von der ursprünglichen Kupferplatte leicht ablösen lässt und an der eine jede noch so kleine Vertiefung der Platte sichtbar erscheint. Dieses war die Veranlassung zur Erfindung der Galvanoplastik.

Fig. 184.



Eine einfache Daniell'sche Kette, in der die Kupferplatte eine horizontale Lage bekommt, um den abzubildenden Gegenstand aufzunehmen, gibt uns den einfachsten galvanoplastischen Apparat. — Bei grössern Gegenständen gebraucht man eine besondere mit Kupfervitriol gefüllte Zersetzungszelle aus Thon oder Holz, welche inwendig mit einer Harzmasse übergossen ist. In diese Zelle (Fig. 184) bringt man den mit Versilberungspulver oder geschlemmtem Graphit leitend gemachten Gegenstand *M*, auf dem sich das Kupfer niederschlagen soll, und darüber auf einem hölzernen Rahmen ein starkes Kupferblech *D* in die

Flüssigkeit eingetaucht, über das man unterhalb Leinwand spannt, um fremdartige Beimengungen zu verhindern. Der Kupfervitriol muss rein und frei von Arsen sein. Der Strom muss schwach und gleichförmig wirken, um einen compacten Niederschlag zu erhalten. Die Kupfervitriollösung muss immer concentrirt erhalten werden. Soll sich an einem Theile des Gegenstandes kein Ueberzug bilden, so bedeckt man ihn mit einer schlecht leitenden Schichte von Wachs oder Firniss.

Auf der ersten Copie des Originals ist alles erhaben, was auf dem Original vertieft ist, sie ist der negative Abdruck; aber der von ihr gewonnene galvanoplastische Abdruck wird bis in's kleinste Detail dem Originale gleichen.

b) Metallochromie. Die schönen Farben, die man durch E. Becquerel's Verfahren, das man Metallochromie nennt, erhält, werden bereits in der Industrie mehrfältig benützt. Man bereitet sich die dazu nöthige Lösung, indem man 1 Theil Aetzkali in 5 bis 6 Theilen Wasser auflöset, diese Lösung nebst feingemahlener Bleiglätte im Ueberschuss in einem irdenen Gefässe zum Sieden bringt und das Sieden $1/2$ Stunde lang unter beständigem Umrühren unterhält, hierauf die Lösung filtrirt und in einem gut verschlossenen Gefässe aufbewahrt. Beim Gebrauche giesst man die Lösung in ein bleiernes oder messingenes Gefäss, verbindet den Gegenstand, den man überziehen will, nachdem man ihn sorgfältig mit Englischroth oder Wienerkalk gereinigt hat, mit dem positiven Pole der Kette, taucht ihn dann in die Lösung und verbindet jetzt erst die Aussenseite des Gefässes mit dem negativen Pol. Man muss einen schwachen Strom einleiten, so dass die Bildung langsam vor sich geht. — Man schützt die gebildete Färbung durch einen Firniss, den man bereitet, indem man $1/2$ Litre Leinöl, 4 bis 8 Gramm fein gepulverte Bleiglätte und 2 Gramm Zinkvitriol mehrere Stunden lang mässig erhitzt und dann filtrirt. Von diesem Firniss werden zwei Schichten nach einander warm aufgetragen.

c) Galvanographie. Bei der Galvanographie wird auf einer vollkommen ebenen und reinen Silberplatte mittelst einer gutleitenden Farbe ein Gemälde hergestellt, welches dann galvanoplastisch copirt jeden Pinselstrich des Originals getreu aber vertieft enthält, und kann, wenn die Platte die gehörige Dicke hat, zu Abdrücken auf der Kupferdruckpresse benützt werden.

Man kann auf galvanischem Wege Kupfer, Silber und Messing vergolden, indem man an die Stelle der Kupfervitriollösung eine sehr verdünnte Lösung von Goldchlorid in Wasser mit Cyankalium bringt. Der Gegenstand, welchen man vergolden will, wird wohl gereinigt mit der Kathode einer constanten Kette verbunden, deren Anode in die Flüssigkeit getaucht wird. Zum Versilbern bedient man sich einer Lösung von salpetersaurem Silberoxyd-Ammoniak, und zum Ueberplatiniren braucht man eine Lösung von Platinsalmiak.

Frankenheim hat ein einfaches Verfahren zum Vergolden gefunden; man bringt das eine Metall, das man vergolden will, mit einem, und wenn es grösser ist, auch mit mehreren Stückchen Zink in Berührung, und taucht beide in eine bis 48° R. erhitzte Lösung von Goldchlorid und Cyankalium, der man etwas reines Kochsalz oder Aetzkali oder Natron beigesetzt hat. Nimmt man den zu vergoldenden Gegenstand alle 10 bis 20 Minuten heraus, und reinigt ihn durch Reiben mit Weinstein, so bekommt man eine sehr dauerhafte Vergoldung. Die Dicke der Goldschichte ist der Zeit proportionirt. — Die Metalloberfläche, die vergoldet wird, muss sehr wohl gereinigt sein.

d) Nobilis Farbenringe. Schon im Jahre 1828 hat Nobili entdeckt, dass an einer reinen Silberplatte, die als positive Electrode in einer Auflösung von essigsaurem Bleioxyde dient, falls ihr gegenüber die Spitze eines Drahtes, welche die Kathode bildet, in die Flüssigkeit getaucht wird, durch den electrischen Strom mehrere concentrische Ringe von Bleihyperoxyd gebildet werden. Edmund Becquerel stellte in der neuesten Zeit vielfältige Untersuchungen über diesen Gegenstand an und fand, dass man prachtvolle Farbenringe an verschiedenen Metallen erhält, wenn man sie als positive Electroden in eine Lösung von Bleioxyd (Bleiglätte) in Aetzkali bringt, dann als negativen Pol eine kleine Platinplatte oder eine aus einer Glasröhre hervorragende Platinspitze braucht, die man dem Metalle gegenüber aufstellt; es scheidet sich an der Kathode Blei aus, an der Anode Bleihyperoxyd in dünnen Schichten, welches, da die Dicke dieser Schichten mit der Entfernung von der negativen Spitze abnimmt, besonders am Argentan und Silberblech die herrlichsten Newton'schen Farbenringe bildet.

Man hat neuestens auch ein Verfahren entdeckt, um Metallflächen mit Messing von verschiedener Färbung auf dem galvanischen Wege zu überziehen.

§. 21. **Galvanische Polarisation.** Hat man einen Wasser-Zersetzungsapparat einige Zeit in Thätigkeit gehabt, öffnet dann die Electricitätsquelle, verbindet aber die als Electroden dienenden Platinplatten desselben mit den Drahtenden eines Galvanometers, so bemerkt man eine dauernde Ablenkung der Magnetnadel und erkennt das Vorhandensein eines secundären Stromes, der den Namen Gegenstrom erhalten hat, weil seine Richtung der des Hauptstromes entgegengesetzt ist. Diese Erscheinung nennt man galvanische Polarisation. Ihre Ursache kann

nur darin liegen, dass die gleichartigen Platten durch den Contact mit den abgeschiedenen Jonen in einen heterogenen Zustand versetzt werden, so dass sie sich wie zwei heterogene Electromotoren verhalten.

Die Polarisation tritt überall auf, wo Metallplatten in electrolytischen Flüssigkeiten als Electroden dienen; also auch in der electrischen Kette, wenn sie aus flüssigen Leitern besteht, aber bei constanten Ketten, wo keine Bedeckung der Electroden mit Gasschichten auftritt, ist auch eine Polarisation unmöglich.

Aus den Untersuchungen über die durch Polarisation erzeugte electromotorische Gegenkraft ergibt sich:

a) Die Grösse derselben wächst mit der Stromstärke;

b) sie hängt auch von der materiellen Beschaffenheit der Electroden und der Flüssigkeit ab, mit der diese in Berührung stehen; und wird

c) durch Erhöhung der Temperatur vermindert.

d) Poggendorf hat auch bewiesen, dass die Polarisation an platinirten Platten bedeutend geringer ist, als an blanken; ein Voltameter lieferte im Schliessungsbogen eines Grove'schen Elements in 30 Minuten 0.89 Kubikcentimeter Knallgas, wenn es blanke Platten, und 77.68 Kubikcentimeter, wenn es platinirte Platten zu Electroden hatte; daher werden platinirte Platten beim Voltameter gebraucht. Bei platinirten Platten ist die Grösse der Polarisation nur sehr wenig von den Aenderungen der Stromstärke abhängig.

Eine mit einem Hyperoxyd, z. B. mit Bleihyperoxyd überzogene Platinplatte verhält sich electronegativ gegen eine reine, und in einem noch höhern Grade gegen eine Zinkplatte, so dass man aus solchen Platinplatten und amalgamirtem Zink äusserst kräftige Volta'sche Ketten construiren kann; man nennt sie Hyperoxydketten; sie sind jedoch nur von kurzer Dauer, weil sich der Sauerstoff des Superoxyds mit dem Wasserstoffe, der sich an der damit überzogenen Platinplatte ausscheidet, zu Wasser verbindet.

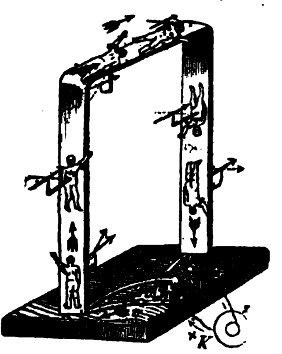
Die kräftige Wirksamkeit einer Grove'schen und einer Bunsenschen Kette, welche die der Daniell'schen weit übertrifft, ist nach Johann Müller nicht allein der Aufhebung der Polarisation durch Hinwegnahme des Wasserstoffes zuzuschreiben, sondern auch dem Umstande, dass die Salpetersäure in der Weise der Hyperoxyde electromotorisch wirkt.

Aus einer Reihe durch vorhergegangene Electrolyse polarisch gemachter Plattenpaare lässt sich sogar eine galvanische Batterie herstellen; hierauf beruhen Grove's Gasbatterie, Ritter's Ladungssäule etc. Grove's Gasbatterie zeigt, dass der blosse Contact mit Sauerstoff- und Wasserstoffgas (besonders im Entstehungszustande) Metallplatten zu heterogenen Electro-

motoren machen kann. Sie besteht aus Platinplatten, die in Glasgefässen abwechselnd mit Sauerstoff- und Wasserstoffgas umgeben werden und theilweise in gesäuertes Wasser eingetaucht sind; sie wird wie jede andere Batterie geschlossen und gibt einen kräftigen Strom, der in der Flüssigkeit von Wasserstoff- zu Sauerstoffgas geht, bis allmälig durch die Electrolyse diese Gase verschwinden. — Ritter's Ladungssäule besteht aus abwechselnd über einander geschichteten Kupferplatten und feuchten Pappscheiben; diese zeigt für sich keine electromotorische Kraft, wird aber zu einer galvanischen Säule umgewandelt, sobald sie eine Zeit lang als Schliessungsleiter einer gewöhnlichen Volta'schen Kette gedient hat.

§. 22. **Wirkung des electrischen Stromes auf eine Magnetnadel.** Stellt man einen Theil des Schliessungsleiters (Fig. 185) parallel zu einer beweglichen Magnetnadel, so wird sie durch den electrischen Strom aus ihrer Richtung abgelenkt.

Fig. 185.



Eine genaue Beobachtung der Richtung der Ablenkung lässt folgende Gesetze erkennen:

1. Der Nordpol der Magnetnadel wird immer zur linken Hand einer mit dem Strome schwimmenden und auf die Nadel schauenden menschlichen Figur abgelenkt. — (Ampère'sche Regel.)

2. Ein geradliniger Strom sucht die Nadel senkrecht auf jene Ebene abzulenken, welche durch seine Richtung und durch den Pol der mit ihm parallelen ruhenden Nadel geht.

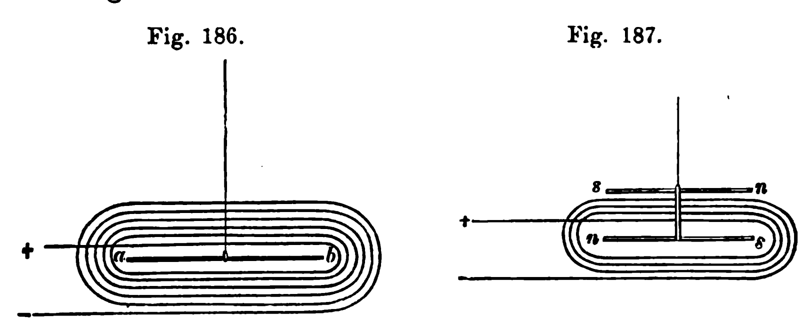
Diese magnetische Wirkung verwendet man zur Nachweisung des Vorhandenseins und der Richtung eines electrischen Stromes.

Der electrische Strom sucht die Magnetnadel senkrecht auf seine Richtung zu stellen; daher vermag er eine astatische Nadel, auf welche der Erdmagnetismus nur schwach wirkt, fast senkrecht gegen seine Richtung zu stellen.

a) Princip des Multiplicators. Will man einen schwachen Strom durch Ablenkung einer Magnetnadel nachweisen, so verstärkt man seine Wirkung auf dieselbe dadurch, dass man den Leitungsdraht des Stromes mehreremale um die Nadel herumwindet, wie es Figur 186 zeigt.

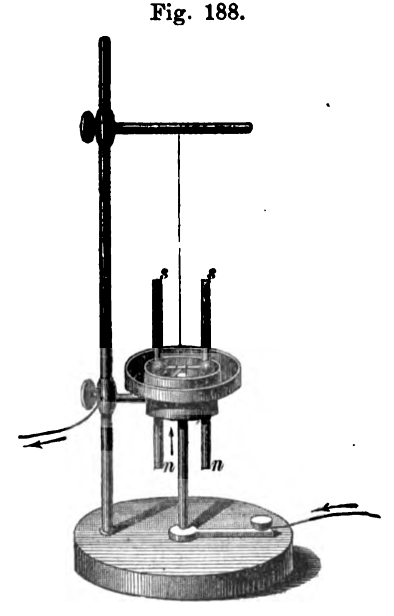
Eine noch bessere Vorrichtung für die Verstärkung der Ablenkung gibt die astatische Nadel (Fig. 187), denn die über den Windungen angebrachte Nadel von umgekehrter Richtung der Pole wird in demselben Sinne abgelenkt, wie die zwischen den Windungen befindliche.

Fig. 186. Fig. 187.



Einen Apparat, der mit einer solchen Vorrichtung für verstärkte Ablenkung der Nadel versehen ist, nennt man einen Multiplicator.

Fig. 188.

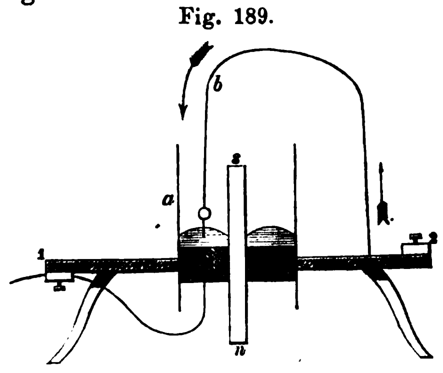


b) Rotirende Magnete und Stromleiter. Im Jahre 1820 machte Oersted die merkwürdige Entdeckung, dass eine Magnetnadel durch einen nahe an ihr vorübergeführten electrischen Strom die so eben gezeigte Ablenkung erleidet.

Aus der Ampère'schen Regel folgt, dass ein electrischer Strom, dessen Einfluss auf den einen Pol eines Magnetes jenen auf den andern Pol überwiegt, dem beweglichen Magnete eine rotirende Bewegung um den Stromleiter herum ertheilen müsse. Die Erfahrung bestätigt diese Folgerung; denn stellt man zwei parallel mit einander verbundene Magnetstäbchen *ns*, deren gleichnamige Pole nach derselben Seite gekehrt sind, um eine ver-

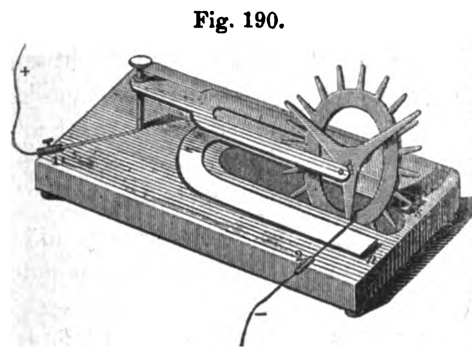
ticale Axe (Fig. 188) leicht drehbar auf, und leitet in der Richtung dieser Drehungsaxe einen electrischen Strom nur bis zur Mitte dieser Magnete, indem man ihn hier durch Quecksilber seitwärts abfliessen lässt, so wirkt er vorzüglich auf jene Pole, an denen er vorbeigeführt wird, und es erfolgt eine Drehung, so dass der Nordpol zur Linken der Stromfigur geht.

Fig. 189.



Ist der Magnet unbeweglich, dagegen ein Theil des Schliessungsleiters so eingerichtet, dass er sich mit Leichtigkeit um einen Magnetpol bewegen kann, so erfolgt eine Drehung des Leiters, aber in einer der Drehung des Magnetes gerade entgegengesetzten Richtung. Dieses zeigt sich an dem sogenannten Faraday'schen Pendel (Fig. 189).

Fig. 190.



Bei dem Barlow'schen Rädchen (Fig. 190) ist der bewegliche Theil des Schliessungsleiters ein sternförmiges Rädchen, das zwischen den Polen eines Magnetes beweglich ist und mit seinen Spitzen in reines Quecksilber taucht. Wird der Magnet umgelegt, d. h. werden die Pole zur Seite des Rädchens verwechselt, so erfolgt auch eine Drehung im entgegengesetzten Sinne.

Anwendung der Ablenkung der Magnetnadel.

§. 23. **Galvanometer.** Um Ströme messen zu können, besonders wenn sie schwächer sind als jene, welche im Voltameter das Wasser zersetzen können, hat man eigene Apparate, Galvanometer, construirt, in denen eine Declinationsnadel in Folge

gleichzeitiger Einwirkung der horizontalen Componente des Erdmagnetismus und der ablenkenden Kraft des Stromes in's Gleichgewicht kommt. Diese Apparate sind die Tangenten- und die Sinusboussole.

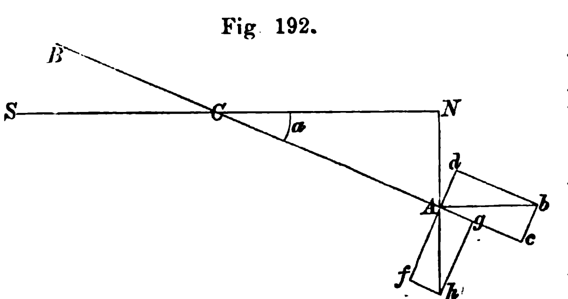
a) Die Tangentenboussole (Fig. 191) besteht, nach Weber, aus einem kreisförmigen Kupfer- oder Messingbogen, dessen Ebene vertical steht. Die in dem Centrum desselben angebrachte Declinationsnadel muss wenigstens viermal kleiner sein als der Durchmesser des Kreises. Die Stromleiter ausserhalb sind zur Aufhebung ihrer Wirkung auf die Nadel parallel zu einer in der Ferne befindlichen Batterie hingeleitet.

Fig. 191.

Beim Gebrauche stellt man das Instrument so auf, dass die Nadel in der Kreisebene, also die Kreisebene im magnetischen Meridian steht. Dann sind alle Stromtheile sammt den Polen der Nadel in derselben Ebene und bei der Kleinheit der Nadel kann man annehmen, dass alle Stromtheile mit gleicher Kraft auf die Pole wirken. Ihre Resultirende stosst also die Pole in einer auf die Kreisebene senkrechten Richtung ab, und ihre Stärke ändert sich nicht merklich, wenn die Magnetnadel von ihrer ursprünglichen Gleichgewichtslage NS (Fig. 192) nach AB abgelenkt erscheint.

Es sei NCA der Ablenkungswinkel $= a$, Ab sei die horizontale Componente H, Ah die ablenkende Stromkraft F; im Zustande des Gleichgewichtes müssen ihre senkrecht auf AB entfallenden Componenten gleich sein, also $Ad = Af$.

Fig. 192.



Aber es ist $Ad = H \sin a$; und $Af = F \cos a$, mithin $F = H \operatorname{tang} a$; und in einem anderen Falle

$$F_1 = H \operatorname{tang} a_1,$$

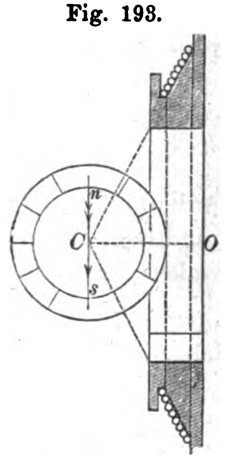
folglich

$$F : F_1 = \operatorname{tang} a : \operatorname{tang} a_1 \ldots (1).$$

Da die ablenkenden Kräfte den Stromstärken S und S_1 proportionirt sind, so sagt die Proportion *(1)*, dass die Stromstärke an demselben Orte der Tangente des Ablenkungswinkels direct proportional ist.

Eine Aenderung des Magnetismus der Nadel hat keinen Einfluss, da sich $\frac{F}{H}$ dadurch nicht ändert. — Thatsächlich findet aber die in *(1)* aufgestellte Beziehung an diesem Instrumente nicht genau statt; die Ursache liegt in der oben berührten annäherungsweisen Bestimmung der ablenkenden Kraft. Nach Gaugain's experimentellen und Bravais' mathematischen Untersuchungen kann aber an dem Apparate eine solche Einrichtung getroffen werden, dass die Gl. *(1)* stattfindet. Man rückt nämlich die Nadel aus dem Mittelpunkte des Kreises in der auf die Kreisebene Senkrechten bis zum Abstande von einem Viertel des Durchmessers hinaus; ihr Drehungspunkt liegt in der Spitze eines Kegels, an dessen unterm Rande mehrere kreisförmige Windungen den Messingbogen ersetzen. Fig. 193 stellt die Gaugain'sche Tangentenboussole im horizontalen Durchschnitt vor.

Fig. 193.



b) Die Sinus-Boussole (Fig. 194) wird beim Gebrauch zuerst so gestellt, dass die Nadel in der Ringebene steht. Der Strom wird in mehreren Windungen um den Ring herumgeführt, und die Ringebene ist über einem horizontalen Kreise drehbar, um durch Nachdrehen die aus dem Meridiane abgestossene Nadel wieder in die Stromebene zu bringen. Nun wirkt in der abgelenkten Lage AB (Fig. 195) der Strom mit derselben Kraft Ah auf sie, wie im Meridian SN; die horizontale Componente H hält aber der Kraft $F = Ah$ mit der senkrechten Componente Ad das Gleichgewicht, d. h. $Ah = Ad$; aber es ist $Ah = F$, und $Ad = H \sin a$ wo $a = ACN$, mithin $F = H \sin a$ und für einen andern Fall

Fig. 194.

$$F_1 = H \sin a_1,$$

daher $$F : F_1 = \sin a : \sin a_1 \ldots (1),$$

d. h. die ablenkenden Kräfte, folglich auch die Stromstärken, sind an demselben Orte dem Sinus des Ablenkungswinkels proportional.

Man bekommt jedoch mit den Galvanometern nur das Verhältniss der Stromstärken während der Einschaltung der Instrumente, aber nicht das der Ströme, bevor sie noch eingeschaltet sind.

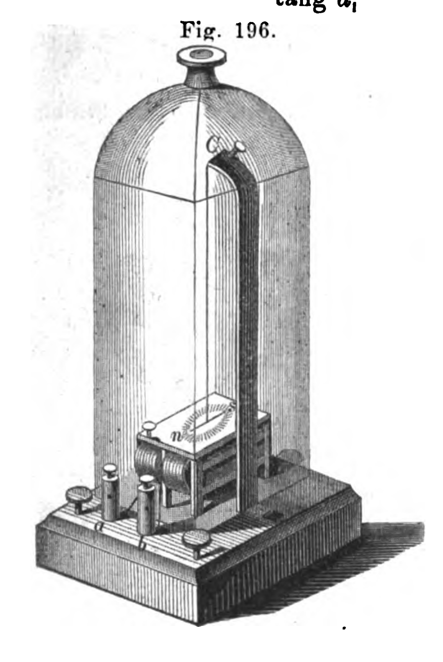
Fig. 195.

c) Chemisches Maass des Stromes. Indem man einen kräftigen Strom durch das Voltameter und zugleich durch eine Tangenten-Boussole gehen liess, fand man, dass die Quantität q der in einer bestimmten Zeit ausgeschiedenen Bestandtheile der Stromstärke, also der Tangente des Ablenkungswinkels, proportional ist, nämlich

$$q : q_1 = \text{tang } a : \text{tang } a_1,$$

daher ist $$q = \frac{q_1}{\text{tang } a_1} \cdot \text{tang } a . = \varsigma . \text{tang } a \ldots \text{ d. h.?}$$

Fig. 196.



Jacobi nahm als absolute Maasseinheit für die Stromstärke jenen Strom als Eins, der in einer Minute im Voltameter einen Kubikcentimeter Knallgas von 0° Temperatur und einer Expansivkraft von 760mm gibt.

Im chemischen Maasse also wird die Stromstärke S ausgedrückt durch

$$S = q = \varsigma \text{ tang } a;$$

ς heisst man den Reductionsfactor; er bedeutet die der Tangente = *1* entsprechende leicht zu ermittelnde Gas-

menge, ändert sich aber mit dem Instrumente und dem Orte auf der Erdoberfläche.

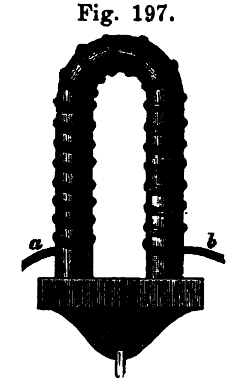
Aufgabe. Wie gross ist der Reductionsfactor der benützten Tangentenboussole, wenn ein Strom die Nadel auf 30° abgelenkt erhält, indem er während 1 Minute 5 Kubikcentimeter Knallgas entwickelt?

d) Multiplicatoren. Zur Nachweisung des Vorhandenseins und der Richtung sehr schwacher electrischer Ströme dienen die Multiplicatoren. Fig. 196 stellt einen sehr empfindlichen von Nobili construirten Multiplicator vor. Unter einem Glaskasten geschützt hängt ein astatisches Nadelsystem, welches von den vielen parallelen Windungen des Multiplicatordrahtes dergestalt umgeben ist, dass die untere Nadel zwischen diesen Windungen, die obere darüber schwebt. Geht ein electrischer Strom durch die Windungen des Multiplicatordrahtes an den Nadeln vorüber, so vervielfacht sich seine Wirkung und es erfolgt leicht eine Ablenkung, da das astatische System nur eine unmerkliche Richtkraft besitzt und jede Nadel in demselben Sinne abgelenkt wird.

Besteht das Gewinde aus zwei neben einander laufenden Drähten, um gleichzeitig zwei Ströme in entgegengesetzter Richtung durchleiten zu können, so bringt nur die Differenz der Stromstärken eine Ablenkung hervor, und dann heisst das Instrument ein Differential-Galvanometer.

§. 24. **Gesetze der magnetisirenden Wirkung electrischer Ströme.** Wenn man an einem geraden oder hufeisenförmigen Stab von weichem Eisen (Fig. 197) einen mit Seide umsponnenen Kupferdraht immer nach derselben Richtung herumwickelt und einen electrischen Strom durchgehen lässt, so wird das weiche Eisen in einen Electromagnet verwandelt. Der Nordpol erscheint wieder zur Linken der Stromfigur oder an dem Ende, wo der Strom den Eisenkern in der entgegengesetzten Richtung eines Uhrzeigers umkreiset.

Fig. 197.



Wird der Strom unterbrochen, so verschwindet, falls kein Anker darauf liegt, der Magnetismus des weichen Eisens fast augenblicklich.

Durch starke Ströme und die Anwendung grosser Magnete und Anker hat man Electromagnete von mehreren tausend Pfund Tragkraft hervorgebracht.

Die Untersuchungen von Jacobi und Lenz (Petersburg 1839) lehren, dass die Kraft des Electromagnetes im gleichen Verhältnisse mit der Stromstärke und mit der Anzahl der Windungen wächst.

J. Müller und Dub haben später (1850—1868) gezeigt, dass das vorstehende Gesetz seine Grenze hat, die es mit zunehmender Stromstärke bei dünnen Stäben früher, bei dicken aber später erreicht, — über diese Grenze hinaus aber wächst der Magnetismus langsamer als der Strom und nähert sich dann einem Maximum. Es gibt also für jeden Stab ein bestimmtes Maximum des Electromagnetismus, welches dem Querschnitte proportional ist.

Die Weite oder der Durchmesser der Windungen hat auf die Stärke des Electromagnetismus keinen Einfluss, wenn die Enden des Stabes auf beiden Seiten weit genug aus der Spirale hervorragen.

Beim Aufhören des Stromes bleibt selbst im weichen Eisen noch etwas Magnetismus zurück, den man dann remanenten Magnetismus nennt. Dieser tritt besonders deutlich auf, wenn dem Electromagnet ein Anker angelegt wird.

Die Tragkraft, die ein mit Anker versehener Electromagnet zeigt. Die Tragkraft eines Magnetstabes nähert sich dem Maximum, wenn die Masse des Ankers der des Magnets gleich ist; sonst ist der Einfluss der Form und Gestalt des Ankers noch nicht ganz ermittelt.

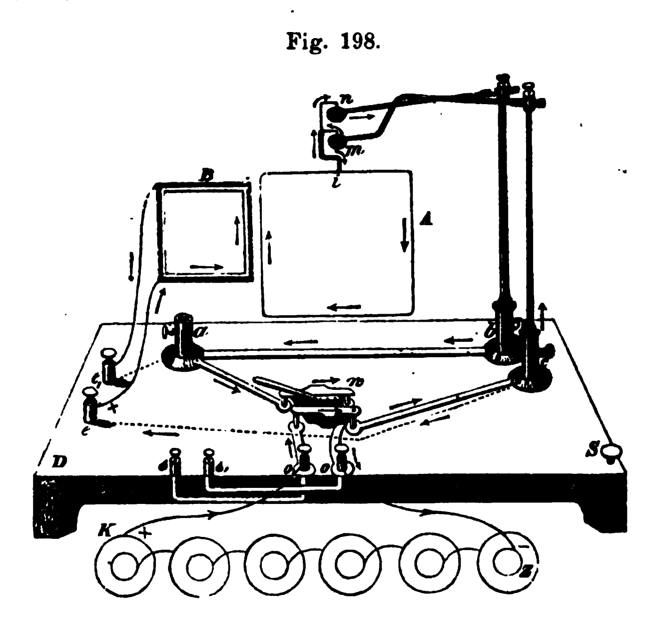
Die Tragkraft wächst mit denselben Grössen wie der Electromagnetismus, und bei Hufeisenmagneten fast im quadratischen Verhältnisse mit der Stromstärke und Anzahl der Windungen. Die Anziehung nimmt mit der Entfernung sehr schnell ab.

Erregung permanenter Magnete durch den electrischen Strom.

Nach Elias bedient man sich dazu einer kurzen isolirten Spirale von dickem Draht, in welche man den zu magnetisirenden Stahlstab frei hineinstecken kann. Man steckt den wohlgehärteten Stahlstab, ob er gerade oder hufeisenförmig ist, in eine solche

Spirale, versieht ihn an den Enden mit Ankern und bewegt ihn, während ein kräftiger Strom die Spirale durchläuft, einige zehnmale in der Spirale bis an die Enden hin und her. Man öffnet endlich die Kette, wenn sich die Spirale über seiner Mitte befindet, und hat den permanenten Magnet fertig. — Vermag er nicht wenigstens sein eigenes Gewicht zu tragen, so ist die Stahlsorte, vorausgesetzt dass der Strom kräftig genug war, zu Magneten als unbrauchbar zu verwerfen. Am besten bewährt sich der sogenannte Wolframstahl.

Fig. 198.



Auch erzeugt man Stahlmagnete durch das S t r e i c h e n mit sehr kräftigen Electromagneten, besonders dann, wenn die Stahlstäbe dick und sehr hart sind.

§. 25. **Wirkung electrischer Ströme auf einander.** Zur Nachweisung der Gesetze der Wechselwirkung zweier electrischer Ströme dient das sogenannte Ampère'sche Gestell (Fig. 198), dessen Einrichtung die Figur ersichtlich macht. — Der Strom einer galvanischen Kette *KZ* durchlauft gleichzeitig die beiden aus Kupferdraht geformten Rechtecke *A* und *B*, deren zwei benachbarte Seiten zu einander parallel gestellt werden können. Das Rechteck *A* ist mittelst Stahlspitzen in den Quecksilbernäpfchen

m und *n* sehr leickt drehbar aufgehängt. — Aus solchen Versuchen folgt:

1. Parallele Ströme von gleicher Richtung ziehen einander an; parallele Ströme von entgegengesetzter Richtung stossen aber einander ab.

2. Zwei Ströme, deren Richtungen sich durchkreuzen, suchen sich immer so zu stellen, dass sie parallel und in derselben Richtung laufen; oder

3. Zwei Ströme, welche an der Durchkreuzungstelle entweder beide einlaufen oder beide auslaufen, ziehen sich an; zwei andere hingegen, wovon der eine aus- der andere aber einlauft, stossen sich ab.

4. Die Kraft der Wechselwirkung zweier geradliniger Ströme wächst mit der Länge und mit der Stromstärke, nimmt aber im quadratischen Verhältnisse mit der Entfernung ab.

§. 26. **Wirkung eines Magnetes auf einen beweglichen Strom.** Eine solche Wechselwirkung haben wir am Faraday'schen Pendel (Fig. 189) gesehen. Die Ablenkung des beweglichen Stromleiters erfolgt in einer der Ampère'schen Regel gerade entgegengesetzten Richtung.

a) Nähert man den Pol eines kräftigen Magnetes einer Seite des beweglichen Rechteckes *A* (Fig. 198), während ein kräftiger Strom darin circulirt, so wird das Rechteck abgelenkt und so gedreht, dass der Nordpol des Magnetes links von der Ampère'schen Stromfigur zu liegen kommt.

b) Der Erdmagnetismus erzeugt eine ähnliche Drehung und stellt die Ebene des Rechteckes in die Richtung von Osten nach Westen. Kehrt man dann die Richtung des Stromes durch einen Commutator *w* (Fig. 198) um, so dreht sich das Rechteck um 180°, so dass es diejenige Seite jetzt nach Süden wendet, die früher dem Norden zugekehrt war. — In beiden Fällen lauft der Strom im Gleichgewichtszustande in der untersten Seite in der Richtung von Osten nach Westen.

c) Ampère's Solenoid (Fig. 199). Denkt man sich ein System solcher Rechtecke *A* (Fig. 198) so mit einander verbunden, dass der Strom isolirt alle in derselben Richtung umkreiset, so erhält man die eben gesehenen Erscheinungen im verstärkten



Maasse. Denkt man sich nun die Rechtecke in Kreise verwandelt, so hat man das **Solenoid** vor sich.

Fig. 199.

Wird das Solenoid, während es ein kräftiger Strom durchfliesst, horizontal leicht drehbar aufgehängt, so zeigt es alle Erscheinungen der Declinationsnadel, — es wirkt genau **wie ein Magnet.**

Gibt man dem Solenoid eine durch seinen Schwerpunkt gehende horizontale Axe, wie bei einer Inclinationsnadel, und stellt es so auf, dass seine Axe im magnetischen Meridian liegt, so neigt sich sein Nordende unter den Horizont und seine Axe nimmt die Stellung einer Inclinationsnadel an.

Hat man zwei Solenoide neben einander aufgehängt, so lehrt der Versuch, dass sich ihre Enden genau so zu einander verhalten, wie die Enden zweier Stahlmagnete.

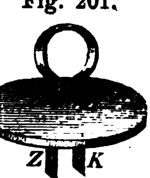
d) **Ampère's Ansicht über den Magnetismus.** Die Erscheinungen des Solenoides führten Ampère zu der Ansicht, dass die gewöhnlichen Magnete so wie die Erde selbst ihre magnetische Kraft electrischen Strömen verdanken, welche die kleinsten Theilchen oder Moleküle derselben umkreisen und so zusammenwirken, wie ein **geschlossener Strom** im Solenoid (Fig. 200). Der Nordpol des Solenoids, also auch eines beliebigen Magnetes liegt nach der Regel des Ampère'schen Schwimmers an jenem Ende *N*, wo der Strom die entgegengesetzte Richtung des Uhrzeigers hat.

Fig. 200.

Die Ursache des Erdmagnetismus wären demnach electrische Ströme, welche die Erde in der Richtung von Osten nach Westen umkreisen. — Eine diesen Strömen folgende Stromfigur hätte die linke Hand nach dem Süden der Erde gerichtet, wenn sie auf die Axe schaut; daher hätte die Erde ihren magnetischen Nordpol im Süden. — In Frankreich pflegt man dem entsprechend das nach Süden gewendete Ende einer Magnetnadel „Nordpol" zu nennen und mit *N* zu bezeichnen.

De la Rive hat einen sinnreichen Apparat (Fig. 201) angegeben, welcher dazu dient, zu zeigen, wie selbst schwache Ströme durch Magnete, ja schon durch den Erdmagnetismus gerichtet werden. Durch eine Korkscheibe sind eine kleine Zink- und Kupferplatte durchgesteckt, oben mit einem Kupferdrahte verbunden. Stellt man den Apparat in eine verdünnte Säure, so richtet er sich so, dass der Schliessungsleiter senkrecht auf dem magnetischen Meridian steht, und zwar so, dass der Strom im untern Theile von Ost nach West geht. Also würden nach Ampére's Theorie electrische Ströme die Erde von Ost nach West umkreisen.

Fig. 201.



Biot schon hat gefunden, dass die Wirkung eines Stromes auf eine Nadel im Verhältnisse des Abstandes abnimmt. Um sich davon zu überzeugen, nimmt man einen mit Seide umsponnenen Kupferdraht, bildet aus ihm mehrere entfernt von einander stehende, aber mit einander zusammenhängende Kreise und legt die Theile des Leiters ausserhalb der Kr eise parallel und dic aneinander, so werden diese Theile keine Einwirkung auf die Nadel hervorbringen, da ihre Stromrichtungen entgegengesetzt und somit ihre Wirkungen gleich und entgegengesetzt sind. Man stellt zuerst die Kreise senkrecht auf die Ebene des magnetischen Meridians, bringt dann in einen Mittelpunkt nach dem andern eine sehr kleine Nadel, so dass man annehmen kann, dass alle Stromtheilchen mit gleichen Kräften auf die Pole einwirken, und lässt die Nadel schwingen, während der Strom einer constanten Batterie die Kreise durchströmt, so findet man aus der Vergleichung der in derselben Zeit vollbrachten Schwingungen in grössern und kleinern Kreisen, dass die ablenkende Kraft dem Halbmesser umgekehrt proportional ist.

Um nun das Gesetz der Action eines Stromtheilchens auf die Magnetnadel aufzufinden, bezeichnen wir die Halbmesser zweier Kreisströme mit R und r, ihre ablenkenden Kräfte mit F und f, so ist nach dem ausgesprochenen Erfahrungsgesetz

$$F : f = r : R \ldots (1).$$

Denken wir uns die Kreisperipherie in n gleiche Elementartheile getheilt, jeden von der Länge l, und bezeichnen mit F_1 die ablenkende Kraft eines Strom-Elementes, so ist die Kraft des ganzen Kreisstromes $F = nF_1$ und für einen andern Kreis $f = n_1 \,.\, f_1$,

mithin $$F : f = nF_1 : n_1 f_1,$$

da ferner $$2R\pi = nl \text{ und } 2r\pi = n_1 l \text{ ist,}$$

so ist $$n : n_1 = R : r,$$

daraus $$F : f = F_1 R : f_1 r,$$

und mit dem Erfahrungsgesetze verbunden

$$R : r = f_1 r : F_1 R,$$

oder $$F_1 : f_1 = \frac{1}{R^2} : \frac{1}{r^2} \ldots (2).$$

Da sämmtliche Elementartheilchen des Kreisstromes auf dem Halbmesser senkrecht stehen und der Halbmesser nahe dem Abstande des Poles gleich ist,

so kann das Gesetz *(2)* so ausgedrückt werden: Steht die Verbindungslinie eines Magnetpols mit dem Stromtheilchen auf der Richtung des Stromes senkrecht, so ist die electromagnetische Action dem Quadrate des Abstandes umgekehrt proportional.

Beachtet man, dass die ablenkende Kraft sowohl der Stärke s des Stromes und des Magnetismus m der Nadel als auch der Länge a des Stromtheilchens direct proportional ist, und bezeichnet mit f und f_1 die ablenkenden Kräfte, welche zwei Stromtheilchen auf denselben Magnetpol ausüben, so ist

$$f : f' = \frac{mas}{r^2} : \frac{ma's'}{r'^2}.$$

Nimmt man jene Stromstärke $s' = 1$, welche bei $a' = 1$ und $r' = 1$ die ablenkende Kraft $f' = 1$ auf die Einheit des in dem Magnetpole concentrirt gedachten Magnetismus ausübt, so ist

$$f = \frac{mas}{r^2} \ldots (3).$$

a) Schliesst aber die Verbindungslinie eines Magnetpols P (Fig. 202) mit dem Elementarstrome ab einen schiefen Winkel $\varphi = abP$ ein, so denken wir uns den Strom in zwei aufeinander senkrechte Componenten zerlegt, wovon die eine in die Verbindungslinie Pb fällt und den Pol nicht ablenkt, weil durch P und bc unendlich viel Ebenen gelegt und ebenso viele darauf senkrechte Ablenkungen angestrebt werden, aber nicht erfolgen, da jede derselben eine entgegengesetzte findet. Also wirkt nur die Stromcomponente ac mit der Kraft $f = \frac{mas}{r^2}$, und ihre Wirkung muss dieselbe wie die Wirkung p des Stromtheilchens ab sein,

Fig. 202.

dieses ist jedoch nur möglich, wenn die ablenkende Kraft mit der schiefen Stellung zur Verbindungslinie so abnimmt, wie die Länge des Theilchens bezüglich ac zunimmt, somit

$$f : p = ab : ac,$$

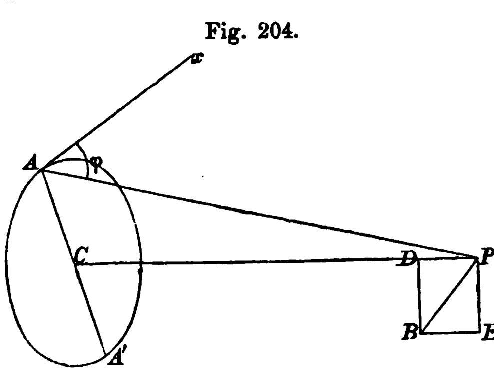
$$p = f.\frac{ac}{ab} = \frac{mas}{r^2} \sin \varphi \ldots (4),$$

d. h. die ablenkende Kraft nimmt auch mit dem Sinus des Neigungswinkels P ab. — Die Erfahrung bestätigt die Richtigkeit dieser Zerlegung, da die ablenkende Wirkung eines geradlinigen Stromes durch jene eines um diesen in kleinen Windungen und in entgegengesetzter Richtung gehenden Stromes aufgehoben wird. (Fig. 203).

Fig. 203.

b) Hat der Stromleiter eine kreisförmige Gestalt, so wirkt er wie ein Magnet. Nehmen wir an die Ebene des Kreisstromes AA (Fig. 204) falle mit der Ebene des magnetischen Meridians zusammen, ein Magnetpol P befinde sich in der im Mittelpunkte C errichteten senkrechten CP. Die Richtung des Stromtheilchens in A ist die der Tangente Ax; die Abstossung des Poles P geschieht senkrecht auf die Ebene PAx, z. B. in der Richtung PB mit der Kraft $PB = \frac{mas}{AP^2}$ weil $\varphi = 90$ ist. Zerlegt man die PB in zwei Componenten, deren eine PD mit CP zusammenfällt, die andere PE darauf senkrecht steht, und bedenkt dass das Stromelement A' bei derselben Zerlegung eine auf CP gleiche und gerade entgegengesetzte senkrechte Componente gibt, und so je zwei solche Stromtheilchen, so bleiben nur die mit CP zusammenfallenden Componenten wirksam. Nun sind die Dreiecke ACP und PDB ähnlich, mithin

Fig. 204.



$$BP : DP = AP : AC,$$

wird $AC = r$ gesetzt und die Kraft substituirt, so ist

$$DP = \frac{mars}{AP^3};$$

sind nun alle n Stromtheilchen des Kreises wirksam $na = 2r\pi$, so ist die Totalaction $S = n \,.\, DP$, also

$$S = \frac{mnars}{AP^3} = \frac{2r^2\pi sm}{AP^3} \ldots (1),$$

d. h. die Wirkung eines Kreisstromes auf einen Magnetpol, der sich in der im Kreismittelpunkte errichteten Senkrechten befindet, ist dem Flächeninhalte des Kreises und der Stromstärke direct, hingegen der dritten Potenz der Entfernung des Poles von der Kreisperipherie umgekehrt proportional. — Auf der entgegengesetzten Seite müsste nach dem Gesetze der Stromfigur die Bewegung in der entgegengesetzten Richtung erfolgen; wurde der Magnetpol dort abgestossen, so wird er hier angezogen.

Für den Fall, wo man mit unmerklicher Vernachlässigung $PC = x$ für AP setzen darf, ist die Totalaction

$$S = \frac{2r^2\pi \,.\, s \,.\, m}{x^3},$$

ganz analog einer in demselben Sinne durch einen Magnetstab hervorgebrachten Ablenkung der Nadel

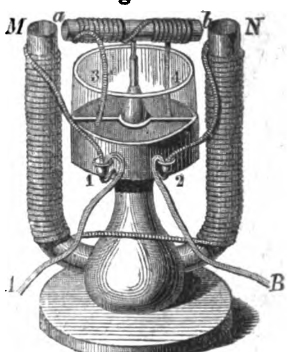
$$R_2 = \frac{2Mm}{x^3}.$$

Ist nun $M = r^2\pi \cdot s$, so ist auch $S = Rs$, d. h. ein kreisförmiger electrischer Strom wirkt auf einen magnetischen Pol in die Ferne ebenso, wie eine magnetische Platte, die auf der einen Seite den nördlichen, auf der andern den südlichen Magnetismus besitzt. Darauf beruht Ampère's Solenoid, ein System kreisförmiger Ströme, in welchem die Verbindungsstellen der kreisförmigen Windungen durch den in der Mitte in entgegengesetzter Richtung geführten Strom compensirt werden. Ein Solenoid zeigt alle Erscheinungen eines Magnets. Bringt man es über einen Schliessungsleiter, durch den ein electrischer Strom geht, so erleidet es dieselben Ablenkungen wie ein Magnet.

§. 27. **Electromagnetische Motoren.** Der Umstand, dass ein Electromagnet augenblicklich seine Pole wechselt, sobald die Richtung des Stromes umgekehrt wird, führte zur Construction von Apparaten, in welchen die Electromagnete auf einander oder auf Stahlmagnete wirkend eine rotirende Bewegung hervorbringen.

a) Dahin gehört Ritchie's Commutator (Fig. 205). Zwischen den Polen eines hufeisenförmigen Stahl- oder Electromagnetes ist auf einer verticalen Axe ein leichtbeweglicher horizontaler Electromagnet so angebracht, dass seine Drahtenden die zwei entgegengesetzten Abtheilungen des Quecksilbers in einem darunter befindlichen Behälter berühren; dadurch wechselt der denselben umkreisende Strom jedesmal seine Richtung, folglich auch der Electromagnet seine Pole, so oft die Drahtenden die hölzerne Scheidewand zwischen dem ein- und austretenden Strome überspringen. — Hat man nun den beweglichen Electromagnet so gegen den unbeweglichen gestellt, dass die gleichnamigen Pole sich gegenüber liegen, so erfolgt in Folge der Abstossung eine Drehung, die über 90° hinaus schon durch die Anziehung der ungleichnamigen Pole begünstigt wird; aber wie sich diese gegenüber zu liegen kommen, überspringen die Drähte die Scheidewand, die Pole ver kehren sich und stossen sich wieder ab. So dauert die Drehung fort.

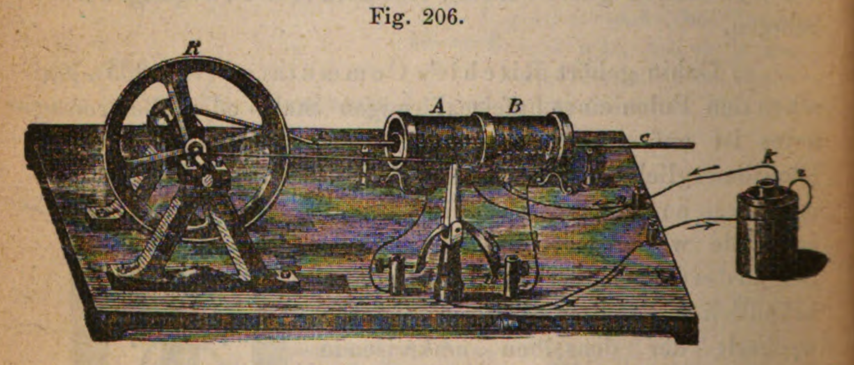
Fig. 205.



Aus dieser Vorrichtung wird ersichtlich, wie starke Electromagnete continuirliche Rotationen hervorbringen und als electromagnetische Motoren andere Maschinentheile in Bewegung setzen können. — Jacobi setzte mit einem electromagnetischen Motor, dem eine Batterie von 64 Grove'schen Elementen den Strom zuführte, ein Boot von 28 Fuss Länge, $7^1/_4$ Fuss Breite dergestalt in Bewegung, dass es, 14 Personen tragend, $2^1/_2$ englische Meilen in einer Stunde auf der Newa zurücklegte. — Die unvermeidliche Consumtion von Zink und Salpetersäure, so wie mangelhafte Verwerthung der Kraft macht solche Motoren zu kostspielig.

b) Der Electromotor von Page (Fig. 206). Derselbe besteht im Wesentlichen aus einer Doppelspule von isolirtem Draht, in

Fig. 206.



welcher sich ein weicher Eisenstab auf der Stange cc hin und her bewegt. Die Stange c greift in die Kurbel eines Rades *R* und treibt dasselbe, wenn sie bewegt wird.

Bei den Versuchen mit dem Solenoide hat man die Erfahrung gemacht, dass ein Eisenkern von einem Solenoide sowie von einer mit Draht umwundenen Spule parallel zur Axe der Drahtwindungen in das Innere gezogen wird in dem Augenblicke, als der Strom zu circuliren beginnt. — Auf dieser Wirkung beruht die Construction des Page'schen Electromotors.

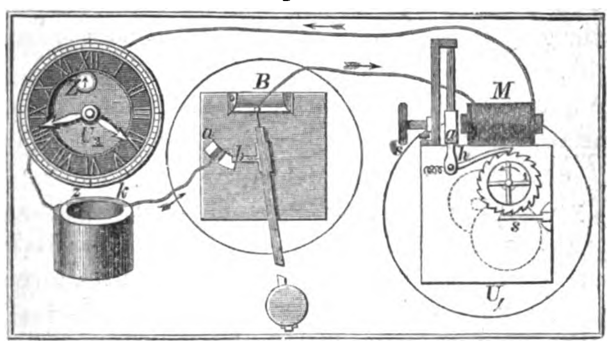
Gesetzt der Eisenkern wäre eben durch einen Strom aus der Spule *A* in die Spule *B* gezogen worden; hört dann der erste Strom in *B* auf, und durchlauft dagegen die Spule *A*, so wird der

Kern aus B in die Spule A zurückgezogen u. s. w. — Diese hin- und hergehende Bewegung wird mittelst der Kurbel in eine rotirende verwandelt.

Mittelst eines Hebels dreht der Apparat selbst den Commutator w und besorgt den Stromwechsel.

§. 28. **Electromagnetische Uhren, Zeiger- und Typentelegraphen.** a) Steinheil wandte zuerst (1839) den Electromagnetismus auf Uhren an; Wheatstone und Bain erfanden gleichzeitig die electromagnetischen Uhren. Fig. 207 stellt das Bain'sche System dar. Das Pendel der Normaluhr B schliesst nach je zwei

Fig. 207.



Schwingungen mit einem federnden Metallstreifen b bei a (die lichten Theile zwischen a und b deuten die Isolirung an) eine damit in Verbinduug stehende Batterie und öffnet sie gleich wieder, so dass M, momentan in einen Electromagnet verwandelt, einen Anker anzieht, der dadurch an einem mit Zähnen versehenen Rade einer secundären electrischen Uhr U_1 um einen Zahn weiter greift, in Folge dessen die Feder das Rad um einen Zahn vorwärts schiebt, dessen rückgängige Bewegung ein Sperrhaken verhindert. — So kann auch eine zweite secundäre Uhr etc. durch denselben Strom und durch eine gute Uhr B regulirt werden. Die Entfernung der Uhren ist beliebig.

Hat die Normaluhr die Einrichtung, dass das Pendel in jeder Secunde einmal den Strom schliesst, und hat das Zahnrad der electrischen Uhr, welches der Ankerhaken treibt, 60 Zähne, so kann der Secundenzeiger unmittelbar an einer Axe angebracht werden. Die secundäre electrische Uhr wird also ohne Gewicht und ohne

Feder blos durch die electromagnetische Wirkung des Stromes im Gange erhalten.

b) Die Zeigertelegraphen von Siemens und Halske beruhen auf diesem Principe der electrischen Uhr. Man denke sich die Normaluhr weg und an dem Zifferplatte U_2 anstatt der Ziffern die 25 Buchstaben aufgetragen; der Stundenzeiger wäre eine Kurbel, die man über den Buchstaben im Kreise herumdrehen kann, die jedesmal die Kette schliesst, so oft sie an einem Buchstab passirt. — Das gezahnte Steigrad in U_1 hätte so viel Zähne (25) als das Buchstabenblatt U_2 Buchtsaben, so wird sich der Zeiger desselben mit dem Zeiger von U_2 regelmässig herumdrehen. Gibt man daher dem Zeiger U_1 auch ein Buchstabenblatt und stellt beide Zeiger anfangs auf denselben Buchstaben, so werden sie sich übereinstimmend von Buchstab zu Buchstab bewegen, und der secundäre Zeiger U_1 (Receptor) wird auf einer fernen Station den Buchstab anzeigen, auf welchem der Zeichengeber (Manipulator) U_2 einige Zeit ruhen bleibt.

c) Typentelegraphen. Denkt man sich das Steigrad des Receptors (eines Zeigertelegraphen) mit einem parallelen Rade versehen, an dessen Mantelfläche die 25 Typen hervorragen und durch Berührung an einer Schwärzrolle mit Druckschwärze versehen sind, so kann man sie der Reihe nach an einem Papierstreifen mit einem Druckklotz, den man entweder mit der Hand oder durch einen andern Mechanismus antreibt, abdrucken.

Gegenwärtig ist bereits der bewährte Hughes'sche Typendrucktelegraph an den Hauptstationen, z. B. Wien, Graz, Triest in Thätigkeit. Derselbe ist aber so complicirt, dass eine Figur hier beigefügt nur die äussere Form zeigen könnte, — man muss ihn arbeiten sehen.

d) Der Wheatstone'sche von Hipp verbesserte electromagnetische Chronometer besteht aus einem sehr feinen Uhrwerk mit zwei Zifferblättern und zwei Zeigern versehen; der erste Zeiger gibt 0·1, der zweite 0·001 Secunden genau an. Die Zeiger werden durch ein Gewicht getrieben, wie bei einer gewöhnlichen Uhr, so lange der electrische Strom nicht circulirt. — Der Strom erzeugt in dem Augenblicke seiner Schliessung einen Electromagnet, der mit seinem Ankerhebel den Gang der Uhr augenblicklich hemmt; und daher bei der Unterbrechung des Stromes eben so augenblicklich den Gang wieder herstellt. Man liest also jetzt die Zeit an den Zifferblättern ab, welche während der Unterbrechung des Stromes vergangen ist. So kann man damit die Fallzeit einer Metallkugel von einer bestimmten Höhe bis auf 0·001 Secunde genau beobachten, wenn die Kugel

oben den Strom im Augenblicke des Fallbeginnes unterbricht und ihn beim Auffallen am Boden wieder schliesst.

§. 29. **Der electromagnetische Telegraph von Morse.** Seine wesentlichen Bestandtheile sind der Schlüssel *T* (Fig. 208), der Signal- oder Schreibapparat *S* (Fig. 209) und eine galvanische Kette.

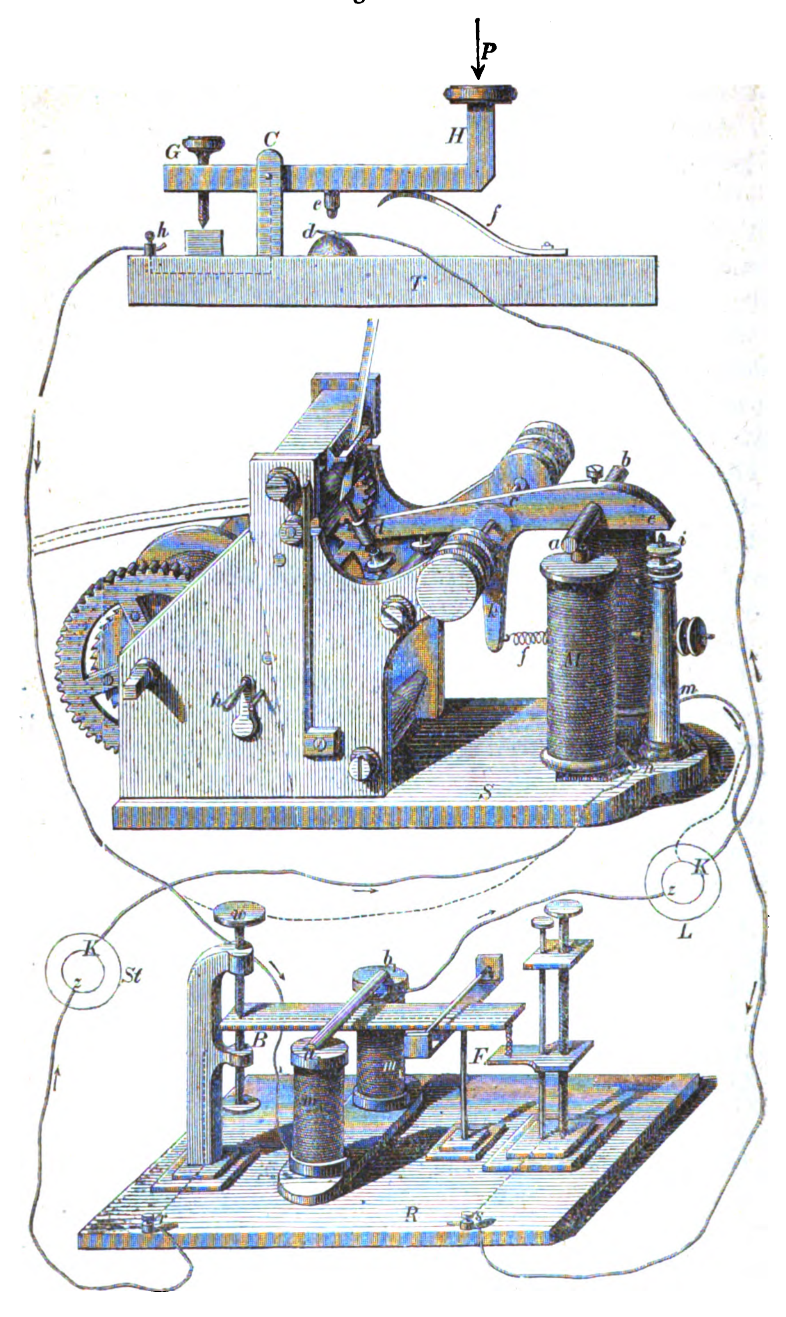
Bei der einfachsten Zusammenstellung geht der Schliessungs-draht einer Batterie *L* durch die punktirte Leitung zu dem Electromagnet des Signalapparates und durch den Schlüssel zurück, ist aber im Schlüssel selbst durch den Abstand des Hammers *e* vom Ambos *d* unterbrochen, und der Strom wird erst durch das Niederdrücken des Hebels *PC* geschlossen. Dauert diese Schliessung nur einen Moment, so entsteht im Signalapparate momentan ein Electromagnet *M*, der den darüber befindlichen Hebel *de* anzieht und gleich wieder auslässt, wobei die Spitze dieses Hebels auf ein zwischen Rollen vorübergezogenes Papier ein Zeichen eindrückt. Der Dauer des Niederdrückens und der Wirkung des Electromagnetes entsprechend ist das eingedrückte Zeichen entweder ein Punkt oder ein Strich, und aus der Combination von Punkten und Strichen besteht das Alphabet.

Um das Telegraphiren von einem Orte zu einem andern Orte zu begreifen, denke man sich den Schlüssel am ersten Orte, den Signalapparat am zweiten Orte; dadurch sind nothwendig die Schliessungsdrähte lang geworden, man lässt jedoch nur einen isolirt durch die Luft hingehen, die Enden des zweiten versenkt man an beiden Stationen mittelst angehängter kupferner Platten in die Erde, welche nach Steinheil's Entdeckung die Rückleitung vertritt. — Will der Telegraphist eine Depesche absenden, so bringt er durch rasches unregelmässiges Schliessen und Oeffnen des Schlüssels im Signalapparate ein Hämmern hervor, welches dem Telegraphisten auf der Station *B* als Zeichen zur Aufmerksamkeit dient. Darauf ruft er die Station, welcher er die Depesche senden will, durch ein verabredetes Zeichen auf und lässt die Depesche in Zeichen folgen.

Durch die lange Leitung wird aber der electrische Strom sehr geschwächt, und er kann in bedeutender Entfernung dem Electromagnete nicht mehr jene Stärke geben, die zum Eindrücken der Zeichen auf dem Papierstreifen nothwendig ist; man schaltet

24*

Fig. 208—210.



daher einen Apparat *R*, Relais genannt (Fig. 210), sammt einer Batterie, welche Localbatterie *St* heisst, so ein, dass der aus der Ferne von der Linienbatterie *L* kommende Strom im Relais die leichte Schliessung der Localbatterie *St* hervorbringt und zurückkehrt, während die so geschlossene Localbatterie einen starken Electromagnet des Signalapparates erzeugt, der den Stift des Hebels mit Kraft gegen die Rolle drückt und deutliche Zeichen veranlasst. So oft der Hauptstrom unterbrochen wird, kommt das Relais ausser Thätigkeit und mit ihm auch die Localbatterie. — Bei dieser Verbindung der drei Apparate ist die punktirte Leitung wegzudenken.

a) Verbindung zweier Telegraphenstationen. In der weitern Ausführung bekommt jede Station alle erwähnten Apparate, die, gehörig mit einander in Verbindung gesetzt, wechselseitige Beförderungen von Depeschen ermöglichen. — Figur 211 soll die Verbindung der drei bezeichneten Apparate an zwei Telegraphenstationen, z. B. Wien und Pest, versinnlichen. *S* ist der Schreibapparat, *T* der Schlüssel, *R* das Relais, *L* die Linien-, *St* die Localbatterie, *K* sind die in feuchte Erde eingegrabenen Kupferplatten zur Aufnahme des Erdstromes. Die Pfeile zeigen den Lauf des Stromes beim Telegraphiren von Wien nach Pest.

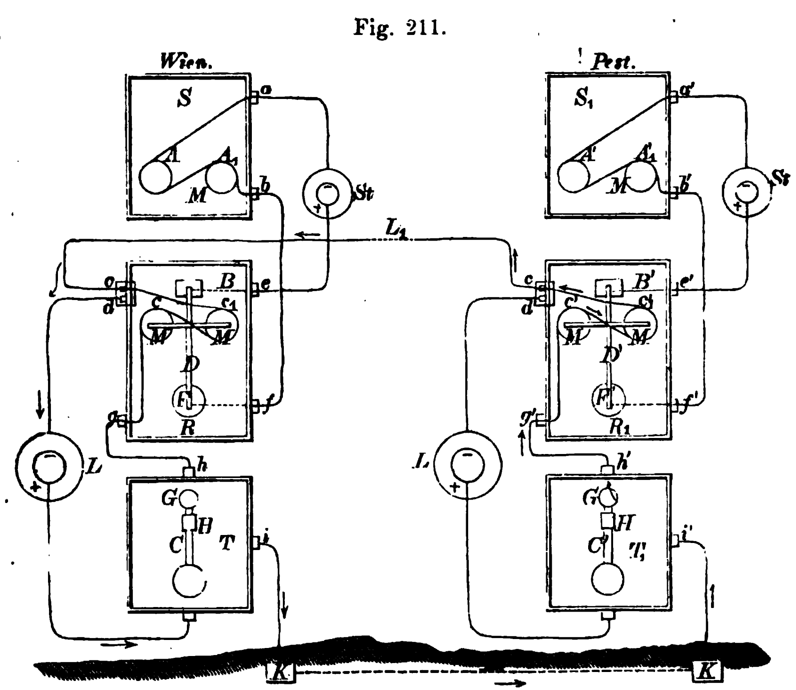
b) Der Baine'sche Nadeltelegraph beruht auf der Ablenkung der Nadel durch den galvanischen Strom. Da der Nordpol immer links von der Stromfigur abgelenkt wird, so kann mittelst eines Commutators, der den Strom umkehren lässt, die Nadel bald rechts, bald links auf zwei Glocken anschlagen. Eine Combination von kurzen und langen Schlägen an den zwei Glocken gibt das Alphabet.

c) Der electrochemische Telegraph, wie von Gintl einer im Gebrauch ist, beruht auf der chemischen Wirkung des electrischen Stromes. — Um eine Vorstellung davon zu erhalten, denken wir der Strom im Morseschen Schreibapparat gehe nicht durch den Electromagnet, sondern durch den Schreibhebel *de*, dessen Spitze immer an dem Papierstreifen aufliegen soll. Ist der Papierstreifen mit Jodkalium und Stärkekleister befeuchtet, so zersetzt der Strom, so oft er von der Spitze durch das Papier geht, das Jodkalium und erzeugt dadurch farbige (blaue) Punkte oder Striche je nach der Dauer des Stromes.

d) Der Copirtelegraph von Caselli (Pantelegraph) gibt die Handschrift sowie jede auf ein Zinnblatt mit isolirender Tinte geschriebene Zeichnung mit electro-chemischer Schrift in der Originalform wieder. Man denke sich, die Schreibspitze des Telegraphen laufe, das Original am Zinnblatt

streifend, von rechts nach links und dicht darunter wieder nach rechts, während sich vor jeder Umkehr das Zinnblatt um die Stiftbreite fortschiebt, so durchstreift die Schreibspitze nach und nach dicht die ganze Fläche des Originals. Bewegt sich auf der Empfangsstation genau so die Schreibspitze über einem für chemische Zeichen zubereiteten Papier, so entstehen an denselben genau dem Original entsprechenden Stellen dieselben Zeichen, d. i. die Copie des Originals. Der Caselli'sche Apparat kann z. B. ein Portrait etc. nachbilden, ist aber sehr complicirt, weil der Synchronismus durch Pendel und Electromagnete hergestellt werden muss.

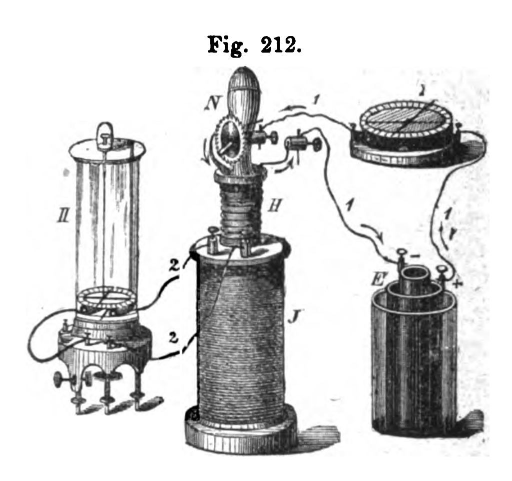
Fig. 211.



§. 30. **Erregung electrischer Ströme durch Induction.** Faraday machte im Jahre 1831 die Entdeckung, dass sowohl durch einen electrischen Strom als auch durch Magnetismus unter bestimmten Umständen in benachbarten und in sich geschlossenen Leitern electrische Ströme von momentaner Dauer erregt werden. Diese Art electrische Ströme zu erzeugen, heisst man Induction, und die so erregten Ströme Inductions- oder inducirte Ströme. — Häufig nennt man sie auch secundäre oder Nebenströme und den sie erregenden Strom den primären oder Hauptstrom.

Nimmt man eine hölzerne Spule und wickelt zwei mit Seide übersponnene Kupferdrähte in vielen neben und auf einander liegenden Windungen auf, so hat man eine sogenannte Inductionsrolle. Figur 212 stellt auch eine solche Doppelrolle vor, aber es ist jeder Draht auf einer besondern Rolle aufgewickelt.

Fig. 212.



a) Verbindet man die Enden des einen Drahtes mit einem Multiplicator und schliesst mit denen des andern eine electrische Kette, so beobachtet man in dem Augenblicke der Schliessung der Kette eine Ablenkung der Magnetnadel, zum Beweise, dass im Nebendrahte ein secundärer Strom entstanden ist, dessen Richtung jener des primären entgegengesetzt und die Dauer nur momentan ist. — Wird der primäre Strom durch das Oeffnen der Kette unterbrochen, so entsteht abermals ein momentaner secundärer Strom, dessen Richtung aber mit der des primären übereinstimmt.

b) Nimmt man nur die hohle, mit einem einzigen Drahte umwickelte Rolle (Fig. 212) und bringt die Drahtenden mit dem Multiplicator in Verbindung, so beobachtet man in dem Augenblicke, wo ein Magnetstab in die Höhlung rasch eingeschoben wird, einen secundären Strom von momentaner Dauer, und beim raschen Herausziehen einen zweiten, dessen Richtung jener des ersten entgegengesetzt ist. — Kehrt man den Magnetstab um und fährt mit dem andern Pole von derselben Seite in die Höhlung, so entstehen beim Einschieben und Herausziehen secundäre Ströme, deren Richtungen jenen im ersten Falle gerade entgegengesetzt sind.

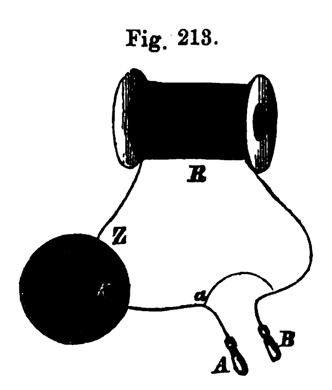
c) Wird ein mit Seide umsponnener Draht um ein Stück weiches Eisen herumgewickelt und seine Enden mit dem Multiplicator verbunden, so entsteht im Drahte ein secundärer Strom, wenn man die Enden des Eisens den Polen eines kräftigen Mag-

netes nähert und das Eisen magnetisch macht; und beim Entfernen des Magnetes, wenn der Magnetismus im Eisen verschwindet, ein zweiter secundärer Strom von entgegengesetzter Richtung.

d) Legt man einen Stab von weichem Eisen in die Höhlung einer Inductionsrolle, so wird er durch den primären Strom magnetisch, beide Pole entstehen gleichzeitig und wirken auf das Drahtgewinde so, als wenn von der einen Seite der Nord-, von der andern der Südpol eingeschoben würde, mithin im gleichen Sinne, wodurch der durch den primären Strom inducirte Strom im Drahtgewinde verstärkt wird. — (Induction durch Electromagnet.)

e) Faraday hat gefunden und Dove durch viele Versuche bestätigt, dass die Windungen eines und desselben Drahtgewindes eine inducirende Wirkung auf einander ausüben, wodurch in dem Drahte des primären Stromes beim Schliessen und Oeffnen der Kette ein Strom entsteht, den man Extrastrom (Extracurrent) nennt.

Fig. 213.



Der Extrastrom hat beim Schliessen eine dem Hauptstrome entgegengesetzte, beim Oeffnen aber die Richtung des Hauptstromes, daher wird bei der Unterbrechung des Stromes der primäre Strom verstärkt und die Unterbrechungsschläge sind viel kräftiger als die Schliessungsschläge.

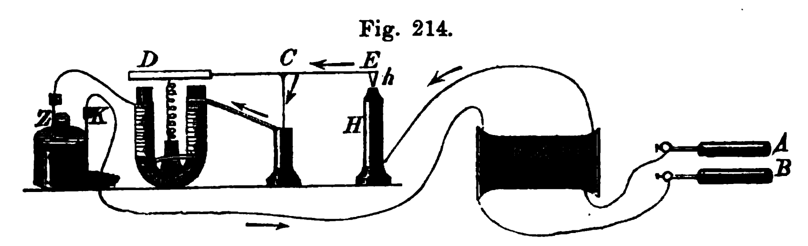
Davon überzeugt man sich mit der Vorrichtung Fig. 213, wenn man die Conductoren *A* und *B* mit befeuchteten Händen anfasst und mittelst des Drahtes, der zu *B* geht, bei *a* den Strom der Kette unterbricht und schliesst.

Auch durch den Erdmagnetismus können Ströme inducirt werden. Bringt man einen Stab von weichem Eisen, um den ein mit Seide umsponnener Draht umgewickelt und mit dem Multiplicator in Verbindung gesetzt ist, in die Richtung der Inclinationsnadel, so wird das Eisen magnetisch und ein inducirter Strom kommt zum Vorschein, wenn man den Stab im magnetischen Meridiane rasch umdreht, so dass er mit verwechselten Enden dieselbe Stellung einnimmt wie vorher. Und selbst durch inducirte Ströme werden wieder Ströme inducirt, wie Henry gezeigt hat.

f) Die inducirten Ströme bringen dieselben Wirkungen hervor, wie die gewöhnlichen electrischen Ströme, und zwar desto stärkere, je stärker der primäre Strom oder der inducirende Magnet ist.

Der Neef'sche Hammer. Kräftige physiologische Wirkungen erzielt man mit Hilfe des Neef'schen Hammers (Fig. 214). Der eine Draht einer Inductionsrolle hat an seinen Enden die

Fig. 214.

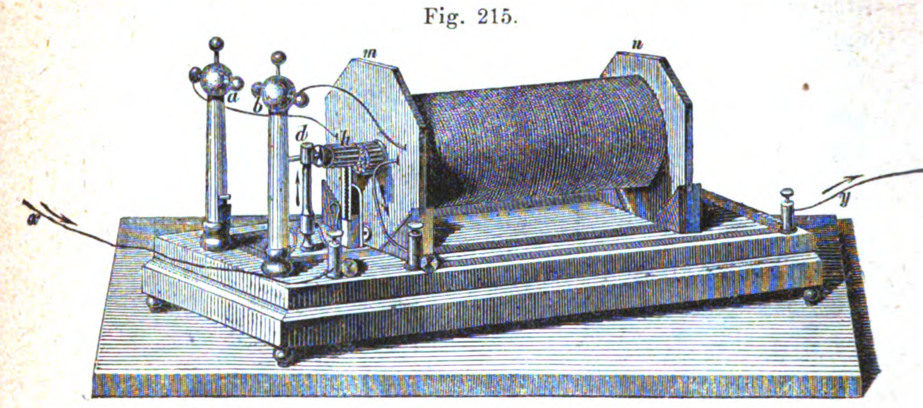


Conductoren *A* und *B*, die man mit befeuchteten Händen anfasst, während der zweite den am Stative *H* aufliegenden Hammer *CE* und den Electromagnet mit der Batterie verbindet und den Strom schliesst. Im Momente des Schliessens entsteht in der Rolle ein secundärer Strom, der durch den Körper geht, aber der Electromagnet unterbricht die Leitung, indem er den mit einem Eisenanker versehenen Hebel *DC* anziht und den Hammer vom Stative abhebt; es erfolgt der Trennungesschlag; aber der Electromagnet hört gleich auf zu wirken, der Hammer schliesst die Kette wieder, indem eine Feder den Anker abreisst etc., und das geht so schnell, dass man ein continuirliches Picken des Hammers hört und rasch auf einander folgende Schläge erhält. — Die Erschütterungen und Zuckungen werden viel stärker und zuletzt unerträglich, wenn man nach und nach Eisenstäbe in die Höhlung der Inductionsrolle einlegt.

g) Der Inductionsapparat oder der Funkeninductor von Ruhmkorff (Fig. 215) hat den Zweck, starke electrische Spannung und kräftige Inductionsströme hervorzubringen. Die Zeichnung stellt einen vom Prof. Frick construirten Inductionsapparat dar. Eine horizontal liegende Inductionsrolle wird von den an ihren Enden angebrachten Glasplatten *m* und *n* getragen. Die Inductionsrolle besteht aus einer hölzernen Hülse, in der ein Bündel Eisenstäbe steckt; auf dieser Hülse ist eine aus zwei

Millimeter dickem Kupferdraht gebildete Hauptspirale zur Aufnahme des **primären** Stromes in vier Lagen aufgewickelt, von

Fig. 215.



denen jede 80 Windungen hat. Die Hauptspirale ist mit einer doppelten Lage stark gefirnissten Papiers umgeben, darauf ist dann die Nebenspirale mit 30 Lagen von ungefähr 500 Windungen eines bei $^1/_3$ Millimeter dicken Drahtes, dessen Enden hier in die Conductoren *a* und *b*, zwischen denen der Inductionsfunke sichtbar ist, auslaufen, so aufgewickelt, dass jede Lage von der folgenden durch ein stark gefirnisstes Papier getrennt und überdies noch mit Schellackfirniss überdeckt ist. Das Drahtbündel verstärkt nicht nur die inducirende Wirkung des Hauptstromes, sondern dient zugleich als Electromagnet, um einen Unterbrechungshammer *h* (wie beim Neef'schen Hammer) in Bewegung zu setzen.

Von einer Electricitätsquelle kommt der Hauptstrom durch den Draht *x*, tritt vom Stative *d* in den Unterbrechungshammer *h*, der so lange durch eine Feder mit ihm in Berührung erhalten wird, bis ihn der Electromagnet abzieht, und geht vom Fusspunkte des Hammers in die Rolle und bei *y* hinaus.

So oft der Hauptstrom durchgeht, wirkt das Drahtbündel als Electromagnet, zieht den Hammer vom Stative *d* ab und unterbricht den Hauptstrom. Bei jeder Unterbrechung entsteht im Nebendrahte ein Inductions-, im Hauptdrahte aber ein Extrastrom von der Richtung des Hauptstromes. Der durch den Extrastrom verstärkte Hauptstrom erscheint aber in diesem Augen-

blicke zwischen *d* und *h* unterbrochen und die dadurch hervorgerufene Spannung wird so bedeutend, dass an der Unterbrechungsstelle lebhafte Funken entstehen, die den Hammer und das Stativ bald beschädigen, wenn diese nicht mit Platin belegt sind. Aber durch die Entladungsfunken wird nur ein Theil der entgegengesetzten Electricitäten neutralisirt, während ein anderer, der sich nicht mehr entladen konnte und in den Draht zurückkehren muss, die inducirende Wirkung bedeutend schwächt.

Um die zerstörenden Funken, sowie die schwächende Rückwirkung des Extrastromes möglichst zu beseitigen, bringt man in den Schliessungsbogen der Hauptspirale einen auf dem Principe der Verstärkungsgläser construirten Condensator derart an, dass er im Momente der Unterbrechung den Extrastrom aufnimmt und unschädlich macht.

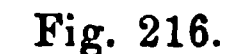
Bringt man in den Conductoren *a* und *b* zwei Spitzen einander gegenüber, so sieht man lange Funken überspringen, die bei einer grössern Annäherung derselben so rasch auf einander folgen, dass man einen beständigen Lichtstrom vor sich zu haben glaubt. Ersetzt man die Metallspitzen durch dicke Drähte, an denen Kohlenspitzen sitzen, und bringt diese einander gegenüber, so erhält man die schöne Erscheinung des electrischen oder Solarlichtes.

Verlängert man die Enddrähte des Inductionsstromes über die Conductoren hinaus, so kann man sie mit der obern und untern Kugel eines theilweise luftleer gemachten ovalen Glasballons, electrisches Ei genannt, in Verbindung setzen. Die Metallkugeln können im luftverdünnten Raume bedeutend weit von einander abstehen, und es erfolgt schon ein Uebergang der Electricität unter lebhafter Lichterscheinung, und zwar ist die positive Kugel von feuerrothem, die negative von violettem Lichte umhüllt.

Mit dem Funkeninductor ruft man die schönen Erscheinungen des geschichteten electrischen Lichtes in den Geissler'schen Röhren hervor; man zeigt damit das rotirende electrische Licht um den einen Magnetpol, den man in das electrische Ei hineinragen lässt.

b) Magneto-Induction. Die von Stöhrer construirte magneto-electrische Rotationsmaschine (Fig. 216) hat den

Zweck, die Wirkung der durch Magnetismus inducirten Ströme im verstärkten Grade hervorzubringen.



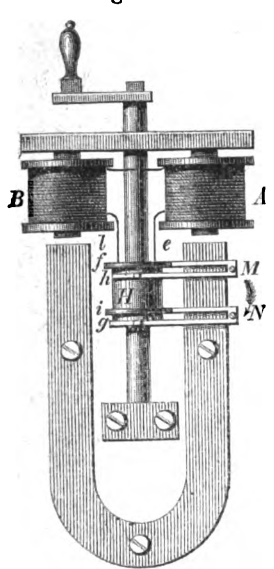


Fig. 216.

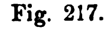
α) Der Inductor. Den Polen eines kräftigen Magnetes oder einer Magnetbatterie gegenüber sitzen auf einer drehbaren Eisenplatte zwei weiche Eisenkerne in Spulen, die in entgegengesetzter Richtung mit einem zusammenhängenden Drahte umwunden sind, so dass ein darin circulirender Strom an den dem Magnete zugekehrten Enden zwei ungleichnamige Pole hervorrufen müsste. Dieser Theil heisst Inductor.

Durch den Einfluss des Magnetes werden die Eisenkerne magnetisch. Dreht man den Inductor von den Magnetpolen weg, so verschwindet während der Drehung um 90^0 der Magnetismus der Eisenkerne und ein Strom von einer gewissen Richtung wird durch sein Verschwinden in dem Drahte des Inductors inducirt. Bei der weitern Drehung von 90^0 — 180^0 wird das weiche Eisen wieder magnetisch, der inducirte Strom müsste dem ersten entgegengesetzt gehen, aber die Magnetismen haben sich vertauscht. Da jetzt den Eisenkernen gegenüber andere Magnetpole liegen, so hat sich auch die Richtung des Stromes vertauscht und ist dieselbe, wie die des ersten von 0^0 — 90^0 inducirten Stromes. — Dreht man von 180^0 — 270^0, so tritt ein entgegengesetzter Strom auf, welcher aus dem eben angegebenen Grunde bei der Drehung von 270^0 — 360^0 mit ihm dieselbe Richtung hat.

Es entstehen also bei jeder Drehung vier inducirte Ströme, deren Richtung jedesmal wechselt, wenn die Eisenkerne den Magnetpolen gegenüber stehen.

β) Man kann nun mittelst eines Commutators H (Fig. 217) bewirken, dass beide Stromrichtungen in einer und derselben Richtung wirksam auftreten. An der Drehungsaxe ist ein Messingrohr befestigt, an den Enden mit Messingringen versehen, an welche zwei Stahlkämme f und g so gelöthet sind, dass sie genau

gegenüber liegen und etwas über die Hälfte des Umfanges umfassen. Der Zwischentheil des Messingrohres ist von einem dünnen Buchsbaumrohre und dieses von einem zweiten Messingrohre umgeben, auf welchem wieder zwei Stahlkämme *h* und *i* befestigt sind, wie die Figur zeigt. — Das Drahtende *e* des Inductors ist mit dem zweiten, das andere *l* mit dem ersten Messingrohre in leitender Verbindung. Nun sind zwei gabelförmige Stahlfedern, die bei *MN* durch einen Leiter leitend verbunden sind, so angebracht, dass ihre freien Enden zugleich an den Kämmen *f* und *i* und dann an *h* und *g* schleifen. Gesetzt der Strom tritt bei *l* in den Commutator, so geht er von *f* zur Feder und von *M* nach *N*, und durch *i* zu *e*. Nach der Drehung um 180° tritt er dann bei *e* in den Commutator, aber es sind jetzt die Kämme *h* und *g* unter den Gabeln, und der Strom geht von *h* zur Feder und wieder von *M* nach *N* und durch *g* zu *l* zurück. Dadurch ist also in der leitenden Verbindung *MN* die Richtung des Stromes fortwährend dieselbe, und man kann sämmtliche inducirte Ströme in derselben Richtung durch einen in der Leitung *MN* befindlichen Körper führen.



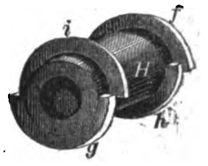


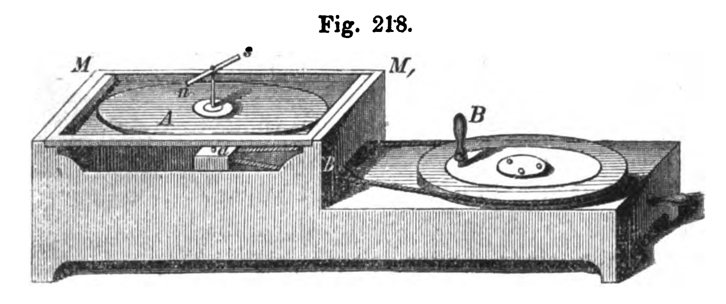
Fig. 217.

Da vor jedem Uebergange der Feder von *f* zu *h* und *i* zu *g* ihre Gabeln einen Augenblick gleichzeitig schleifen, so kehrt der Strom gleich durch die Feder zurück, wobei in *MN* eine Unterbrechung geschieht, und man erhält in der Verbindung *MN* stehend einen sogenannten Trennungsschlag. Bei raschem Drehen folgen die Schläge schnell auf einander und werden sehr empfindlich.

i) Rotationsmagnetismus und Dämpfer. Auf der Induction electrischer Ströme durch Magnetismus beruht auch die von Arago gemachte Entdeckung, dass ein leicht beweglicher horizontaler Magnetstab (Fig. 218) durch eine unter ihm befindliche schnell rotirende Kupferscheibe in eine drehende Bewegung versetzt wird, die in der nämlichen Richtung, in der die Scheibe rotirt, anfangs langsam, dann aber rasch vor sich geht. Die Stärke der Einwirkung der rotirenden Scheibe auf den Magnetstab ist um so grösser, je geringer ihr Abstand vom Magnete, je grösser ihre Masse und je stärker der Magnetismus des Stabes ist. Faraday hat nachgewiesen, dass diese Erscheinung von der Wirkung

der von dem Magnete in der Kupferscheibe erzeugten Inductionsströme herrühre.

Fig. 218.



Die Anwendung von Kupferplatten als Dämpfer der Bewegung eines Magnetes beruht darauf, dass die in ihr durch den bewegten Magnet inducirten Ströme demselben eine entgegengesetzte Bewegung zu ertheilen suchen und seine Bewegung verzögern. Will man daher die Schwingungen einer Magnetnadel schnell beendigt sehen, so bringt man unter derselben eine Kupferplatte an, und nennt sie Dämpfer.

Dass die inducirten Ströme auch in massiven Platten einen Kreislauf vollbringen, zeigt der Umstand, dass die Wirkung geschwächt wird und endlich ganz unterbleibt, wenn man in die Platte Einschnitte macht oder einzelne Sectoren ausschneidet.

§. 31. **Thermoelectricität.** Die durch Temperaturänderung der Substanzen hervorgerufene Electricität wird Thermoelectricität genannt. Man kannte in Indien, wo der Turmalin häufig vorkommt, schon lange die electrische Eigenschaft desselben und nannte ihn Aschenzieher, weil er, in's Feuer geworfen, die Asche anzieht.

Seebeck machte 1821 die Entdeckung, dass bei einer Wismuthstange, an deren Enden ein Kupferdraht angelöthet ist, durch Erwärmung einer Löthstelle ein electrischer Strom erzeugt wird, der vom Wismuth zum Kupfer und durch das Kupfer zum andern Ende der Wismuthstange zurückkehrt. Wird die Löthstelle erkaltet, so erfolgt ein Strom von einer gerade entgegengesetzten Richtung. Der electrische Strom erscheint desto stärker, je grösser der Temperaturunterschied an den Löthstellen ist.

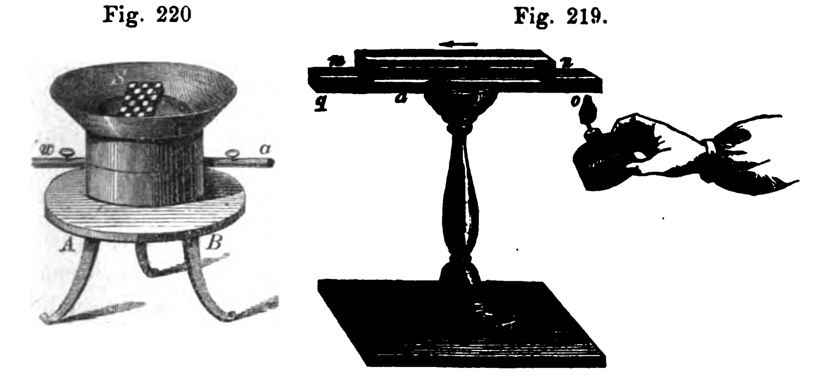
Sehr deutlich beobachtet man die Ursache des Thermo-Stromes an dem Apparate Figur 219, wo sich zwischen einer

Kupfer- und Wismuthplatte, die an den Enden zusammen gelöthet sind, eine bewegliche Magnetnadel befindet.

Aus der Erfahrung hat sich eine Reihe von Metallen ergeben, in welcher der Strom bei Erwärmung der Berührungsstelle irgend eines Gliedes mit einem folgenden vom erstern zum letztern geht. Diese Reihe besteht aus: Wismuth, Nickel, Kobalt, Platin, Blei, Zinn, Kupfer, Gold, Silber, Zink, Eisen, Antimon.

Verbindet man durch Löthung mehrere Wismuth- und Antimonelemente immer in derselben Ordnung an den Enden leitend mit einander und füllt den Zwischenraum mit einem Isolator aus und gibt das isolirte Bündel in einen Metallcylinder (Fig. 220),

Fig. 220 Fig. 219.



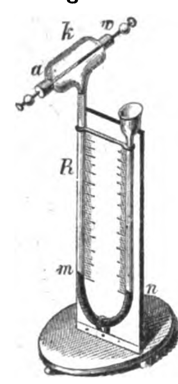
welcher so eingerichtet ist, dass man die Löthstellen auf der einen Seite erwärmen und die auf der andern zugleich abkühlen kann, so hat man eine **Thermosäule.**

In der neuesten Zeit (1864) hat der Mechaniker Marcus in Wien aus Metall-Legierungen eine kräftige Thermosäule construirt. Das positive Metall besteht aus 10 Gewichtstheilen Kupfer, 6 Zink und 6 Nickel; das negative aus 12 Gewichtstheilen Antimon, 5 Zink und 1 Wismuth. — Die Metallstäbe werden aneinander geschraubt, so dass die Berührung selbst bei hohen Temperaturen fortbesteht. Erhitzt wird nur das positiv electrische Metall, welches erst bei 1200° C. schmilzt, während das negative schon bei 600° schmilzt. — Sechs solcher Elemente genügen schon, um angesäuertes Wasser zu zersetzen; 30 Elemente erzeugen einen Electromagneten von 150 Pfund Tragkraft.

Peltier machte die Entdeckung, dass an der Verbindungsstelle zweier Metalle ein durch diese Metalle gehender Strom einen Wärmezustand erzeugt, der entgegengesetzt ist demjenigen, durch welchen an dieser Stelle ein electrischer Strom von der nämlichen Richtung hervorgebracht wird. Dieses lässt sich mit dem in Fig. 221 dargestellten Apparate nachweisen. Die gebogene in

gleiche Volumtheile eingetheilte Röhre *R* ist theilweise mit gefärbtem Weingeist gefüllt, an einem Ende offen, an dem andern geht sie in eine Glaskugel *k* aus, in der zwei aneinander gelöthete Stäbchen von Wismuth und Antimon luftdicht eingekittet sind. Wird nun ein Strom in beliebiger Richtung durchgeleitet, so erkennt man die Erwärmung oder Abkühlung der Löthstelle an dem Steigen oder Fallen des Weingeistes in der offenen Röhre, und beurtheilt diese Wirkung im Vergleiche zur Richtung des Stromes.

Fig. 221.



Die Wirkungen der Thermoströme sind die der galvanischen Ströme überhaupt, nur muss man schon grosse Säulen anwenden, um Wasser zersetzen zu können.

§. 32. **Leitungswiderstand.** Die Beobachtungen am Galvanometer lehren, dass bei unveränderter Wirksamkeit der Electricitätsquelle die Stromstärke durch Verlängerung des Schliessungsleiters vermindert wird. Jeder neue Theil des Leiters setzt also dem Strome einen Widerstand entgegen, zu dessen Ueberwindung ein Theil der Stromstärke verwendet werden muss. Man nennt diesen Widerstand Leitungswiderstand.

Stromleiter, die denselben Widerstand leisten und in einem gegebenen Stromkreise einander ersetzen können, ohne die Stromstärke zu ändern, heissen äquivalente Leiter. Die Versuche beweisen, dass nur metallische Leiter, die bei einer Electricitätsquelle als äquivalent sich bewähren, in jedem andern Falle äquivalent bleiben, wenn nur ihre Temperatur unverändert bleibt, und sie im Schliessungskreise an feste Leiter sich anschliessen. Anders verhält es sich mit dem Ersatze flüssiger Leiter; war ein fester Leiter bei einer Electricitätsquelle einem flüssigen äquivalent, so findet dies nicht mehr statt bei einer andern Electricitätsquelle oder einem andern Schliessungsbogen.

Der Leitungswiderstand eines Drahtes ist bei derselben Temperatur abhängig von seiner materiellen Beschaffenheit, von seiner Länge und seinem Querschnitte.

Bezeichnet man mit k den specifischen Widerstand, den ein Draht bei einer bestimmten Temperatur (0° C.), bei einer Länge $l = 1$ und dem Querschnitte $q = 1$ dem Strome entgegengesetzt, so ist natürlich, dass die Länge $2, 3 \ldots n$ auch den Widerstand $2k, 3k \ldots nk$ leistet, und da der Draht von $q = 2, 3 \ldots n$ eine $2, 3 \ldots n$mal grössere Electricitätsmenge in derselben Zeit

durch jeden Querschnitt lässt, so nimmt der Leitungswiderstand mit der Zunahme des Querschnittes *2, 3 ... n*mal ab. — Ist w der Leitungswiderstand eines Drahtes vom Querschnitte q, der Länge l und dem specifischen Widerstande k, für einen andern Draht aber W bei Q, L und K, so hat man das Verhältniss

$$W : w = \begin{cases} K : k \\ L : l \\ q : Q \end{cases}$$

mithin
$$W : w = \frac{KL}{Q} : \frac{kl}{q} \dots (1).$$

Dieses Gesetz hat Pouillet durch Versuche nachgewiesen. Sollen zwei Drähte äquivalent sein, so muss $W = w$ sein, also auch

$$\frac{KL}{Q} = \frac{kl}{q}, \text{ folglich } l = \frac{K}{k} \cdot L \cdot \frac{q}{Q} \dots (2).$$

Ist $K = k$, d. h. sind die Drähte von derselben materiellen Beschaffenheit, so folgt aus *(2)* die Bedingung für ihre Aequivalenz

$$\frac{L}{Q} = \frac{l}{q} \text{ oder } L : l = Q : q \dots \text{ d. h.?}$$

Hinsichtlich der Temperaturänderung gilt im Allgemeinen, dass mit der Zunahme der Temperatur der Leitungswiderstand wächst, dass aber dieses Wachsen bei verschiedenen Metallen sehr verschieden ist.

a) Reducirte Länge. Nimmt man den specifischen Leitungswiderstand k, z. B. eines Kupferdrahtes bei 0° C. als Einheit an, d. i. $k = 1$ bei $q = 1$, so erhält man

$$l = \frac{K \cdot L}{Q} = W,$$

dadurch ist der Leitungswiderstand irgend eines Drahtes L ausgedrückt durch die Länge eines Kupferdrahtes. Diese äquivalente Länge l des zur Vergleichung genommenen Kupferdrahtes nennt man die reducirte Länge des Drahtes L.

b) Widerstands-Einheit. Nach Jacobi's Vorschlag nahm man früher als Einheit des Leitungswiderstandes an: den Widerstand eines cylindrischen Kupferdrahtes von 1 Meter Länge und 1 Millimeter Durchmesser. — Weil aber gerade der Widerstand des Kupferdrahtes in Folge ungleicher Erzeugung dessel-

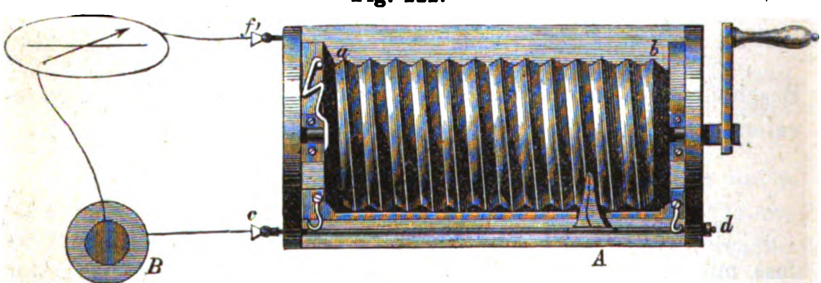
ben sehr variirt, so nimmt man in neuerer Zeit nach Siemens als Widerstandseinheit an: den Widerstand eines Quecksilberprisma von 1 Meter Länge und 1 Quadratmillimeter Querschnitt bei 0° C.

Die neueste Widerstandseinheit des englischen Gelehrtenvereines „British Association" ist fast gleich der Siemens'schen und heisst „Ohmad". Es ist 1 Ohmad = 1·57 Jacobi = 1·0486 Siemens.

Aufgabe. Wie gross ist in Jacobi's Einheiten der Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes von 40 Meter Länge und 0·5 Millimeter Dicke? Wie viel beträgt dieser Widerstand nach Siemens, und wie viel nach der Ohmad?

§. 33. **Der Rheostat.** Zur Vergleichung der Widerstände dient der sogenannte Rheostat (Fig. 222). Er besteht aus einem

Fig. 222.



Cylinder *ab* von trockenem Holze, der um eine eiserne Axe mittelst einer Kurbel drehbar ist; auf der Oberfläche dieses Cylinders ist ein feiner aus sehr vielen Windungen bestehender Schraubengang von geringer Tiefe eingeschnitten, um einen $^1/_2$ bis 1 Millimeter dicken Messing- oder Neusilberdraht aufzunehmen, von dem ein Ende im Holze bei *a* befestigt ist, das andere in *b* zur Drehungsaxe geht. An der Seite befindet sich ein Metallstab *cd* mit einer verschiebbaren metallenen Hülse *A*, deren Einrichtung so getroffen ist, dass sie beim Drehen fortrückt und mit einer Feder an dem Drahte des Rheostaten schleift.

Der Strom geht von der Electricitätsquelle *B* durch *cd* bis *A*, tritt durch die Feder der Hülse in den Rheostaten, wo er bei *b* zur Axe und von ihr bei *f* zur Tangenten-Boussole und zurück geht. Dreht man so, dass die Hülse vorwärts schreitet, so muss der Strom eine grössere Länge des Rheostatendrahtes durchlaufen.

Bei einer Untersuchung stellt man die Hülse auf *b*, schaltet in *Bc* einen auf seinen Widerstand zu untersuchenden Draht ein und merkt den Ablenkungswinkel am Galvanometer; nimmt den Draht weg, dreht den Rheostaten bis wieder derselbe Ablenkungswinkel stattfindet, so ist der Widerstand des jetzt eingeschalteten Rheostatendrahtes äquivalent dem zu untersuchenden Drahte etc. Die Widerstände der untersuchten Drähte verhalten sich wie die dabei eingeschalteten äquivalenten Drahtlängen des Rheostaten.

Man bedient sich zur Vergleichung der Leitungswiderstände verschiedener Leiter am vortheilhaftesten der Thermosäule, als Electricitätsquelle, welche bei constanter Temperaturdifferenz einen constanten Strom gibt und jede Aenderung des Leitungswiderstandes leicht empfinden lässt, indem sie nur aus metallischen Leitern bestehend selbst einen constanten und sehr geringen Widerstand dem Strome entgegensetzt.

Zur Einschaltung beliebiger Widerstände in den Schliessungsdraht einer Batterie hat man grössere Widerstandssäulen, besonders in Siemens'schen Einheiten, so eingerichtet, dass es nur der Versetzung eines Metallstöpsels bedarf, um den erwünschten Widerstand zu haben.

Die Ohmad wurde in Platin, Quecksilber, Gold-Silber, Platin-Silber und Platin-Iridium-Legierung ausgeführt, und zwar aus jedem Material zwei Normalmaasse.

Copien werden in Platin-Silber-Legierung ausgeführt und von Matthiessen so abgeglichen, dass sie zwischen den Temperaturen 14·5 und 16·5° C. richtig sind.

§. 34. **Das Ohm'sche Gesetz.** Die Untersuchungen lehren, dass sich bei einer und derselben Electricitätsquelle die Stromstärken umgekehrt zu einander verhalten, wie die Summe der Widerstände der Quelle und der metallischen Leiter.

Die Stromstärke wächst mit der electromotorischen Kraft, welche den Strom erzeugt, nimmt aber mit der Grösse der Widerstände ab, welche der Strom zu überwinden hat.

Bezeichnet S die Stromstärke, E die electromotorische Kraft, W den Gesammtwiderstand in dem einen, s, e und w in einem andern Falle, so hat man

$$S : s = \begin{cases} E : e \\ w : W \end{cases} \qquad \text{daher}$$

$$S : s = Ew : We.$$

Nimmt man nun diejenige electromotorische Kraft $e = 1$ welche bei einem Gesammtwiderstande $w = 1$ einen Strom von

der Stärke $s = 1$ gibt, so erhält man als Maass der electromotorischen Kraft

$$E = SW,$$

und daraus das Ohm'sche Gesetz

$$S = \frac{E}{W}.$$

d. h. die Stromstärke ist gleich der electromotorischen Kraft getheilt durch den Gesammtwiderstand.

§. 35. **Das Ohm'sche Gesetz mit Rücksicht auf die flüssigen Leiter.** Die Schwächung, die ein electrischer Strom beim Durchgange durch Flüssigkeiten erleidet, ist von zweierlei Art; die eine hängt von dem Leitungswiderstande der Flüssigkeit ab, und nimmt mit der Dicke im geraden Verhältnisse zu; die zweite wird durch die Polarisation der Metallplatten herbeigeführt und ist von der Dicke der Flüssigkeit unabhängig.

Die Wirksamkeit der constanten Volta'schen Ketten ist von der Polarisation unabhängig; bei ihnen ist die Bedeckung der Electroden mit Gasschichten, folglich auch die Polarisation unmöglich.

Will man die Stromstärke nach dem Ohm'schen Gesetze für den Fall finden, wo in dem Schliessungskreise eine Flüssigkeit, z. B. ein Voltameter vorhanden ist, so muss auf die Polarisation der mit der Flüssigkeit in Berührung befindlichen Stromleiter in der Art Rücksicht genommen werden, dass man die electromotorische Kraft der Polarisation P von jener der Kette E abzieht, weil sie Gegenströme erzeugt, mithin erhält man für die Stromstärke S, wenn W der Leitungswiderstand der Electricitätsquelle, F der Gesammtwiderstand der im Schliessungsleiter befindlichen Flüssigkeiten ist,

$$S = \frac{E - P}{W + F}.$$

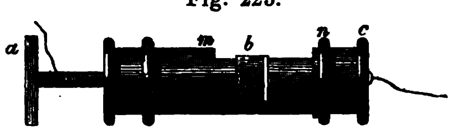
Dieser Ausdruck gibt darüber Aufschluss, warum ein Metalldraht vom Leitungswiderstande L, welcher einer Flüssigkeit, auf die sich P und F bezieht, äquivalent ist, ihr nicht mehr bei einer andern Electricitätsquelle äquivalent sein kann; denn für diesen Fall ist

$$\frac{E}{W + L} = \frac{E - P}{W + F}, \text{ mithin } L = \frac{EF + PW}{E - P},$$

woraus man ersieht, dass sich der Werth von L mit E und P zugleich ändert und nur dann von E unabhängig ist, wenn $P = o$ ist.

Wheatstone hat gezeigt, wie man mittelst einer sogenannten Messröhre (Fig. 223), in der man beliebige Flüssigkeitssäulen einschaltet, den Leitungswiderstand einer Flüssigkeit unabhängig von der Polarisation berechnet. Die Messröhre wird sammt dem Galvanometer und Rheostaten in den Schliessungskreis einer constanten Batterie eingeschaltet, und der Flüssigkeitssäule in der Röhre zuerst die Länge von $1/4$ Zoll gegeben. F sei der Widerstand von einem Zoll Flüssigkeitssäule, P ihre Polarisation, L der Leitungswiderstand des so weit eingeschalteten Rheostaten, bis die Nadel eine bestimmte Ablenkung zeigt; so ist

Fig. 223.



$$S = \frac{E - P}{W + L + \frac{F}{4}}.$$

Füllt man jetzt $5/4$ Zoll der Röhre mit der Flüssigkeit und vermindert den Widerstand im Rheostaten auf L', so dass die Nadel dieselbe Ablenkung erleidet wie früher, so ist abermals die Stromstärke

$$S = \frac{E - P}{W + L' + 5/4\, F},$$

aus der Vergleichung folgt als Leitungswiderstand der Flüssigkeit

$$F = L - L'.$$

Auch der Widerstand einer Flüssigkeit wächst mit ihrer Länge, nimmt mit dem Querschnitte ab, wird aber durch Erhöhung der Temperatur bedeutend vermindert.

§. 36. **Die Abhängigkeit der Stromstärke von der Anzahl und Grösse der Elemente einer electrischen Kette** lässt sich mit Hilfe des Ohm'schen Gesetzes beurtheilen.

Hat man eine aus einem Elemente bestehende constante galvanische Kette, deren electromotorische Kraft E, der Leitungswiderstand in der Kette selbst K und im Schliessungsleiter L ist, so ist die Stromstärke

$$S = \frac{E}{K + L} \dots (1).$$

Bildet man eine Batterie aus n solchen Elementen und schliesst sie mit demselben Leiter, so ist die Stromstärke

$$S_1 = \frac{n \,.\, E}{n \,.\, K + L} \dots (2).$$

Vergrössert man aber die Metallplatten der einfachen Kette und gibt ihnen die *n*fache Oberfläche und schliesst sie wieder mit demselben Leiter, so wird der Widerstand in der Kette *n*mal kleiner und die Stromstärke

$$S_2 = \frac{E}{\frac{K}{n} + L} \dots (3).$$

Um mittelst dieser Ausdrücke die Wirkung der Batterien zu vergleichen, fassen wir die äussersten Fälle in's Auge:

a) Wo der Widerstand des Leiters L bezüglich des Widerstandes der Kette K vernachlässigt werden kann, wie dies mit Ausnahme der Thermosäule der Fall ist, wenn ein kurzer und dicker Metalldraht zum Schliessungsleiter genommen wird; dann ist

$$S = \frac{E}{K}, \qquad S_1 = \frac{E}{K} = S, \qquad S_2 = \frac{nE}{K} = nS.$$

Bei einem sehr kleinen Widerstande des Leiters nutzt also die Vermehrung der Elemente nichts, aber die Vergrösserung der Electromotoren bringt eine in demselben Verhältnisse grössere Wirkung hervor.

Bei grossen Platten ist die Gesammtmenge der Electricität grösser, der Widerstand in der Kette kleiner, daher ist der Strom im Stande, grosse thermische und magnetische Wirkungen zu erzeugen.

b) Wo der Widerstand in der Kette K bezüglich des Leiters L zu vernachlässigen ist, wie z. B. wenn der Strom durch Flüssigkeiten oder durch einen langen und dünnen Draht zu gehen hat; dann ist

$$S = \frac{E}{L}, \qquad S_1 = \frac{nE}{L} = nS, \qquad S_2 = \frac{nE}{nL} = S.$$

Bei sehr grossen Widerständen im Schliessungsleiter nutzt daher die Vergrösserung der Electromotoren nichts, aber mit der Vermehrung der Anzahl der Elemente wächst die Wirkung in demselben Verhältnisse. — Man wird also zu physiologischen und chemischen Wirkungen die Anzahl der Elemente zu vermehren haben.

Aus diesen zwei äussersten Grenzfällen lassen sich alle Zwischenfälle annäherungsweise beurtheilen.

c) Die Vermehrung der Stromkraft mit der Anzahl der Elemente hat aber auch ihre Grenze, denn man sieht aus

$$S_1 = \frac{nE}{nK + L} = \frac{E}{K + \frac{L}{n}},$$

dass sich S_1 dem Werthe von $\frac{E}{K}$ mit der Vermehrung desselben immer mehr nähert, ihn aber niemals vollkommen erreicht. Man kann die Grenze, wo dann eine weitere Vermehrung der Elemente nichts mehr nutzt, an der Ablenkung der Nadel in einer Tangenten-Boussole entnehmen.

Man kann eine Batterie von n Elementen durch blosse Verbindung sämmtlicher positiven und sämmtlicher negativen Electromotoren in eine grossplattige Kette verwandeln.

d) Hat ein Strom bereits einen bedeutenden Widerstand W erfahren

$$S = \frac{E}{W},$$

und man bringt in den Schliessungskreis einen neuen Leiter vom Widerstande L, so wird die verminderte Stromstärke sein

$$S' = \frac{E}{W + L},$$

mithin $$S : S' = \frac{1}{W} : \frac{1}{W + L} = 1 + \frac{L}{W} : 1.$$

Je geringer nun der Werth von $\frac{L}{W}$ ist, desto weniger weicht S' von S ab, d. h. die Stromstärke wird durch den neuen eingeschalteten Leiter desto weniger geändert, je geringer der Leitungswiderstand desselben im Verhältniss zu dem schon überwundenen Gesammtwiderstande ist.

Daraus ist auch zu ersehen, wann im Multiplicator der Strom in vielen Windungen herumkreisen darf, wann nicht, und welche Dicke der Draht haben soll.

Faraday hat den Begriff der Quantität und Intensität eines electrischen Stromes eingeführt. Intensive Ströme sind solche, welche grosse

Leitungswiderstände zu überwinden vermögen, quantitative, die dies nicht zu thun fähig sind, aber bedeutende thermische und magnetische Wirkungen hervorbringen.

e) Die beste Einrichtung einer Volta'schen Kette ergibt sich ebenfalls aus dem Ohm'schen Gesetze. Gesetzt, man habe aus einem gegebenen Material nur ein Element gemacht, so gibt die einfache Kette den Strom

$$S = \frac{E}{K + L}.$$

Theilt man aber die gegebenen Platten in gleiche Theile und macht daraus n Elemente, so wird der Widerstand in jedem Elemente nK, daher in n Elementen $n \,.\, nK = n^2K$, mithin die Stromstärke

$$S_1 = \frac{nE}{n^2K + L} = \frac{E}{nK + \frac{L}{n}} \ldots (1).$$

S_1 wird am grössten, wenn der Nenner $nK + \frac{L}{n}$ am kleinsten, ist, also muss in jedem andern Falle $n'K + \frac{L}{n'}$ die Ungleichheit bestehen

$$n'K + \frac{L}{n'} > nK + \frac{L}{n}, \text{ oder } (n' - n)\left(K - \frac{L}{nn'}\right) > o,$$

d. h. dieser Ausdruck muss positiv sein, was nur dann möglich ist, wenn beide Factoren zugleich positiv oder negativ sind, also für $n' > n$ auch $K > \frac{L}{nn'}$ und für $n' < n$ auch $K < \frac{L}{nn'}$. Aus diesem Grunde müssen die Werthe derselben beide zugleich Null sein, so dass für $n' = n$ auch $K = \frac{L}{nn'} = \frac{L}{n_2}$ ist.

Mithin $$L = n^2K \text{ und } n = \sqrt{\frac{L}{K}} \ldots (2),$$

daher $$S_1 = \frac{nE}{2L} = \frac{E}{2\sqrt{KL}} \ldots (3)$$

der Werth der grösstmöglichen Stromstärke S_1. Hieraus folgt, wie sich die Einrichtung der Kette nach dem Leitungswiderstande zu richten hat. Wäre L bezüglich K zu vernachlästigen, so gibt *(1)*

$$S_1 = \frac{nE}{n^2K} = \frac{E}{nK} = \frac{E}{\sqrt{KL}},$$

also gerade doppelt so gross, als in dem Falle, wo der Leitungswiderstand des Bogens dem der Kette gleich ist. -- Darnach kann man in jedem Falle beurtheilen, ob eine Kette den grössten Effect gibt, dessen sie bei dem Materiale und dem bestimmten Widerstande des Leiters fähig ist. In ökonomischer

Beziehung kommt jedoch auch die in jeder Zelle vorhandene Zinkconsumtion in Betracht.

§. 37. **Bestimmung der electromotorischen Kraft und des Leitungswiderstandes einer galvanischen Kette.** Die constanten Grössen, welche die Wirksamkeit einer constanten Stromquelle bestimmen, sind die electromotorische Kraft E und der in der Stromquelle selbst vorhandene Widerstand K. — Man bedient sich zu ihrer Bestimmung einer Tangentenboussole, deren Widerstand bezüglich K zu vernachlässigen ist, wo dann die Stromstärke von der Anzahl der Elemente fast unabhängig ist; man ermittelt die Stärken S, S_1, S_2 des von der betreffenden Electricitätsquelle durch Leiter von den Widerständen L, L_1, $L + L_1$ kommenden Stromes, und man hat

$$S = \frac{E}{K+L}, \qquad S_1 = \frac{E}{K+L_1}, \qquad S_2 = \frac{E}{K+L+L_1},$$

mithin

$$K+L = \frac{E}{S}, \qquad K+L_1 = \frac{E}{S_1}, \qquad K+L+L_1 = \frac{E}{S_2};$$

zieht man die zweite Gleichung von der dritten ab, und substituirt den Werth von L in der ersten, so hat man die gesuchten Grössen

$$K = E\left(\frac{1}{S} + \frac{1}{S_1} - \frac{1}{S_2}\right),$$

und

$$L = E\left(\frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1}\right); \ldots (1) \ldots \text{d. h.?}$$

Die zweite Gleichung gibt den Werth für E, wenn der Widerstand L bekannt ist; wird dieser Werth E in die erste Gleichung substituirt, so erhält man auch den Werth für K.

a) Will man aber nur das Verhältniss der Wirkungen S und S_1 zweier Stromquellen, so schliesst man die Ketten nach einander durch eine Tangentenboussole und hat

$$S : S_1 = \text{tang}\, a : \text{tang}\, a_1,$$

und weil

$$S = \frac{E}{K}, \quad S_1 = \frac{E_1}{K_1}$$

ist, so auch

$$\frac{E}{K} : \frac{E_1}{K_1} = \text{tang}\, a : \text{tang}\, a_1 \ldots (2).$$

b) Nimmt man aber eine Sinusboussole, deren Leitungswiderstand L im Vergleiche zu dem der Kette K sehr gross ist, so hat man

$$S = \frac{E}{L} \text{ und } S_1 = \frac{E_1}{L},$$

mithin, da $S : S_1 = \sin a : \sin a_1,$

so ist das Verhältniss der electromotorischen Kräfte

$$E : E_1 = \sin a : \sin a_1 \ldots (3).$$

Beispiel. Ein constanter Strom eines Zinkkohlen-Elementes gibt in der Tangentenboussole einen Ablenkungswinkel $\alpha = 33^0$; nach der Einschaltung eines Argentandrahtes von 12' Länge und 0·5''' Dicke wird aber der Ablenkungswinkel $\alpha' = 9^0$. Wie gross ist der Widerstand K des Elementes und der Leitung in der Tangentenboussole, und wie gross die electromotorische Kraft E des Elementes? Nimmt man erstens als Einheit des Widerstandes den Widerstand eines Kupferdrahtes von einem Fuss Länge, einer Linie Dicke und vom specifischen Leitungswiderstande Eins, so beträgt der Widerstand des eingeschalteten Argentendrahtes vom specifischen Leitungswiderstande *11·883*

$$l = \frac{12}{0{\cdot}5^2} \times 11{\cdot}883 = 568,$$

d. h. der eingeschaltete Argentendraht leistet denselben Widerstand, wie ein 568 Fuss langer Kupferdraht von einer Linie Dicke.

Nimmt man zweitens jenen Strom als Einheit an, der die Nadel auf 45° ablenkt, so hat der vorhandene Strom die Stärke:

$$S = \frac{E}{K} = \text{tang} \,.\, 33^0,$$

und nach der Einschaltung

$$S_1 = \frac{E}{K + 568} = \text{tang} \,.\, 9^0.$$

Daraus folgt der gesuchte Widerstand

$$K = \frac{568 \text{ tang} \,.\, 9^0}{\text{tang} \,.\, 33^0 - \text{tang } 9^0} = \frac{568 \times 0{\cdot}1584}{0{\cdot}6494 - 0{\cdot}1584} = 183{\cdot}24,$$

d. h. der Widerstand des Elementes und der Leitung in der Tangentenboussole ist so gross als jener eines Kupferdrahtes von 183·24 Fuss Länge und einer Linie Dicke.

Die electromotorische Kraft des Elementes ist daher

$$E = K \,.\, \text{tang} \,.\, 33^0 = 183{\cdot}24 \times 0{\cdot}6494 = 119,$$

d. h. die electromotorische Kraft oder die Stromstärke beim Gesammtwiderstande $= 1$ ist 119mal so gross als unsere Stromeinheit. Um z. B. dieses Maass in chemische Einheiten umzusetzen, nehmen wir an, der Reductionsfactor der benützten Tangentenboussole wäre 8·65 Kubik-Centimeter; daher beträgt

$$S = \frac{E}{K} = \varrho \,.\, \text{tang} \,.\, 33^0 \text{ und}$$

$$E = \varrho \,.\, K \text{ tang } 33^0 = 119 \times 8{\cdot}65 \, K^c,$$

d. h. so viel Kubik-Centimeter Knallgas würde der Strom des untersuchten Elementes in der Minute geben, wenn der Gesammtwiderstand gleich wäre dem Widerstande eines 1 Fuss langen und 1 Linie dicken Kupferdrahtes.

§. 38. **Stromtheilung.** Gibt man einem Strome von einem Punkte seiner Leitung angefangen bis zu einem andern zwei oder mehrere leitende Drähte, so verzweigt er sich nach der Erfahrung so, dass durch jeden Zweig der Leitung desto mehr Electricität hindurch geht, je geringer sein Leitungswidersand ist.

Die Stromstärken s und s_1 der Zweigströme verhalten sich also verkehrt wie die Leitungswiderstände w und w_1 der Zweigbahnen, also

$$s : s_1 = w_1 : w = \frac{1}{w} : \frac{1}{w_1} \ldots (1).$$

Drücken wir die Widerstände w und w_1 zweier Drähte von demselben specifischen Leitungswiderstande h und der nämlichen Länge l, aber von verschiedenen Querschnitten q und q_1 aus, so erhalten wir

$$w = \frac{hl}{q},\ w_1 = \frac{hl}{q_1},\ \text{mithin}\ q = \frac{hl}{w},\ q_1 = \frac{hl}{w_1}.$$

Beide Drähte mit einander vereinigt hätten den Leitungswiderstand

$$W = \frac{hl}{q + q_1},\ \text{somit}\ q + q_1 = \frac{hl}{W},$$

folglich $$\frac{1}{W} = \frac{1}{w} + \frac{1}{w_1} \ldots (2),$$

d. h. die Leitungsfähigkeit $\frac{1}{W}$ der vereinigten Drahtäste ist gleich der Summe der ihnen zugehörigen Leitungsfähigkeiten.

Da der ganze Strom S durch den Querschnitt $q + q_1$ geht, so ist

$$S : s = (q + q_1) : q,\ \text{und}\ S : s_1 = (q + q_1) : q_1,$$

daher $$S : s = \frac{1}{W} : \frac{1}{w},\ \text{und}\ S : s_1 = \frac{1}{W} : \frac{1}{w_1},$$

daraus $$s = \frac{SW}{w},\ s_1 = \frac{SW}{w_1} \ldots (3).$$

Aus der Gleichung (2) folgt der Werth $W = \frac{ww_1}{w + w_1}$, mithin

$$s = \frac{Sw_1}{w + w_1}\ \text{und}\ s_1 = \frac{Sw}{w + w_1} \ldots (4).$$

Das Gesetz der Stromtheilung gestattet eine mehrfache Anwendung:

a) Man kann selbst einen sehr starken Strom mittelst eines empfindlichen Galvanometers ohne Gefahr für das Instrument messen, indem man ihn in zwei Theile verzweigt, wovon der eine sehr schwach ist; diesen misst man mit dem Galvanometer und schliesst daraus nach der vorgenommenen Theilung auf die Stärke des ganzen Stromes. Man legt die Enden der Galvanometerdrahtes so an den Schliessungsleiter, dass zwischen ihnen ein Stück von der Länge x und dem Widerstande w bleibt. Nun geht der electrische Strom theilweise durch den Galvanometerdraht vom Widerstande w_1, theilweise durch x. Da zu x noch ein Leiter hinzugetreten ist, so verhält es sich so, als wäre an die Stelle von x ein etwas besser leitendes Stück gekommen, das dem Strome einen geringern Widerstand W entgegensetzt, weshalb die Stromstärke in allen Theilen des Schliessungsleiters etwas erhöht, aber in x selbst wegen der Theilung vermindert wird. Bezeichnet man mit s die Stromstärke in x, mit s_1 jene im Galvanometer, mit S jene im ungetheilten Drahte, mit K den Widerstand der Kette sammt dem Schliessungsleiter, mit Ausnahme von x, so ist

$$S = \frac{E}{K + W}, \text{ und da } W = \frac{ww_1}{w + w_1}$$

ist, so folgt die Stromstärke

$$S = \frac{E(w + w_1)}{K(w + w_1) w + ww_1}; \quad s = \frac{Ew_1}{K(w + w_1) + ww_1}$$

und

$$s_1 = \frac{Ew}{K(w + w_1) + w \cdot w_1}.$$

Da man s_1 im Galvanometer misst, so kann man S nach der Gleichung *(3)* berechnen.

b) Durch Stromtheilung kann man dem Galvanometer eine Scala geben, an welcher unmittelbar die Stromstärke abgelesen werden kann. Ist x ein kurzer dicker Draht, so kann w bezüglich w_1 vernachlässigt werden, wenn der Galvanometerdraht lang und dünn ist, und man hat

$$s_1 = \frac{Ew}{Kw_1 + ww_1} = \frac{Ew}{(K + w) w_1}.$$

Aber bei zusammengesetzten Ketten ist K gegen w ebenfalls sehr gross und man kann setzen

$$s_1 = \frac{Ew}{Kw_1}.$$

Da die Grössen E, K, w_1 für eine bestimmte Stromquelle und ein gegebenes Galvanometer constant sind, so ist die Stärke des Zweigstromes s_1 nur von w, mithin nur von der Länge x abhängig und dieser direct proportional, also

$$s_1 : s_1' = w : w' = x : x' \ldots (1).$$

Nimmt man bei der eingeschalteten Länge x' die Stromstärke $s_1' = 1$, so ist

$$s_1 = \frac{x}{x'}, \text{ also für } x = nx' \text{ ist } s_1 = n.$$

Bezeichnet man die Ablenkung der Nadel am Galvanometer bei x', $2x'$, $3x' \ldots nx'$, so erhält man eine Scala, an der man unmittelbar $s_1 = 1, 2, 3, \ldots n$ ablesen kann.

c) Zur Vergleichung zweier Stromstärken S und S_1 genügt es w so zu reguliren, dass einerlei Ausschlag der Galvanometernadel erfolgt, denn dann ist

$$\frac{Ew}{Kw_1} = \frac{E_1 w'}{K_1 w_1}, \text{ mithin } w : w' = \frac{E_1}{K_1} : \frac{E}{K} = x : x' \ldots (2).$$

Auch die Widerstände w_1 und w_2 zweier Galvanometer lassen sich, wenn E und K constant bleiben, vergleichen; man ändert wieder x, bis die Nadel bei beiden denselben Ablenkungswinkel gibt, und man hat

$$w_1 : w_2 = x_1 : x_2$$

das Verhältniss der Leitungswiderstände der beiden Galvanometer.

§. 39. **Uebersicht der bekannten Erregungsweisen der Electricität.** In den bisherigen Untersuchungen der statischen und dynamischen Gesetze der Electricität wurde nur jener Erregungsweisen gedacht, durch welche eine leicht zu beobachtende Spannung uud Strömung der Electricität hervorgerufen werden kann, als: Electricität durch Reibung, Berührung, statische uud dynamische Induction und durch Wärme. Es sind aber ausserdem noch andere Electricitätsquellen vorhanden, denn auch durch Druck, mechanische Trennung der Körpertheile, chemische Action und durch Lebensprocesse kann Electricität hervorgerufen werden.

a) Der Druck gehört zu den allgemeinsten Mitteln, Electricität zu erregen. Wird ein Körper gedrückt und dadurch örtlich verdichtet, so wird schon Electricität frei, wie dies im Grossen beim Zusammenstossen von Eisblöcken in nördlichen Eismeeren bemerkt wird. Die Erfahrung lehrt, dass je zwei heterogene Körper und wenn sie sich auch nur durch eine blosse Temperaturdifferenz von einander unterscheiden, entgegengesetzte electrische Zustände annehmen, wenn man sie aneinander drückt. Auch durch das Spalten der Körper, vorzüglich jener mit regelmässiger Theilbarkeit, wird Electricität erregt.

b) Alle chemischen Processe, Verbindungen sowohl als Trennungen, werden von electrischen Zuständen begleitet. So erhält bei Verbrennungsprocessen der brennende Körper die eine, das Verbrennungsprodukt die andere Electricität.

c) Auch im Wege des Lebensprocesses wird in thierischen Organismen Electricität erregt; in dieser Beziehung zeichnen sich electrische Fische, als der Zitteraal, Zitterrochen, Zitterwels, durch

eigene Organe aus, durch die sie willkürlich electrische Ströme von bedeutender Stärke entwickeln. — Das electrische Organ besteht bei allen diesen Fischen aus zahlreichen runden oder eckigen Säulchen, welche aus vielen dünnen Blättchen, zwischen denen sich eine schleimige Flüssigkeit befindet, zusammengesetzt sind. Die einzelnen Säulchen aber sind durch eine sehnigte Haut von einander getrennt.

Du Bois-Reymond hat nachgewiesen, dass jeder Muskel und Nerv in seinem Quer- und Längsschnitte entgegengesetzte Electricitäten besitzt, indem ein electrischer Strom vom Längs- zum Querschnitte durch einen Verbindungsdraht geht. Diese electrischen Ströme erleiden in dem Augenblicke Veränderungen, wo im Nerv derjenige Vorgang eintritt, welcher die Bewegung oder die Empfindung vermittelt.

§. 40. **Atmosphärische Electricität. Blitzableiter.** Erst um die Mitte des vorigen Jahrhunderts hat der berühmte Franklin die Identität des Blitzes mit dem Entladungsfunken einer electrischen Batterie nachgewiesen. — Papierene Drachen zeigen, wenn sie mit einer Metallspitze und einer leitenden Schnur versehen in die Höhe steigen, dass sie in electrischen Regionen schweben, und zwar besonders bei einem herannahenden Gewitter. Die Wolken sind gewöhnlich negativ, die Gewitterwolken aber bald negativ, bald positiv electrisch. Die Atmosphäre selbst ist meistens positiv, bei regnerischem Wetter jedoch meistens negativ electrisch.

Die Versuche mit dem Drachen sind zur Zeit, wenn die Luft stark electrisch ist, mit grosser Gefahr verbunden; daher muss man an der leitenden Schnur, die man frei zur Erde herabhängen lässt, eine isolirende seidene Schnur anbringen, um mit ihr den Drachen zu lenken. Auf diese Art erhielt man mehrere Fuss lange electrische Funken, die von einer am freien Ende der leitenden Schnur angebrachten Metallkugel mit donnerartigem Krachen zur Erde fuhren. Der Blitz ist also nichts Anderes als eine sehr starke electrische Entladung; der Donner aber ist der Knall, welchen der electrische Funke bei seinem gewaltsamen Durchgange durch die Luft erzeugt.

Wie der electrische Strom, so verfolgt auch der Blitz beim Einschlagen stets die besten Leiter, springt aber, wo diese eine

Unterbrechung erleiden, mit einer zerstörenden Kraft durch schlechte Leiter auf bessere über.

Zur Beobachtung der Luftelectricität kann jedes Electroscop verwendet werden, wenn man es mit einer langen Zuleitungsstange versieht, die oben zugespitzt an einem erhabenen Orte isolirt befestigt ist. — Zu genaueren Beobachtungen hat man auf Observatorien eigene Luft-Electrometer.

a) Die Gewissheit, dass der Blitz nichts Anderes ist, als eine starke electrische Entladung, die Leichtigkeit, mittelst eines langen, am obern Ende zugespitzten Leiters die Electricität aus den Wolken selbst in die Erde abzuleiten, führte Franklin zur Erfindung des Blitzableiters.

So oft eine Gewitterwolke über erhabene Gegenstände hinzieht, wird in diesen der natürliche Zustand in den electrischen umgesetzt. Durch diese inducirende Einwirkung häuft sich in den höher gelegenen Orten der Erdoberfläche eine entgegengesetzte Electricität an; wie dies das St. Elms-Feuer beweist. Kommt nun die Wolke so nahe an den erhabenen Gegenstand, dass die herrschende Spannung der Electricität die Luftschichte durchzubrechen vermag, so erfolgt eine Vereinigung der Electricitäten in Form des Blitzes.

Zieht aber eine stark electrische Wolke in etwas weiterer Entfernung schnell über einem hohen Gebäude vorüber, oder entladet sie sich in einen andern Gegenstand, so vereinigen sich die im Gebäude durch Induction getrennten Electricitäten auf dem kürzesten Wege, durchbrechen und zerstören die dazwischen befindlichen Gegenstände, und erzeugen auch meist so bedeutende thermische Wirkungen, dass brennbare Gegenstände in Feuer gerathen, wie durch einen directen Blitzschlag.

Franklin's Blitzableiter dient nun dazu, die entgegengesetzten Electricitäten der Gewitterwolken und der Erde und Gebäude, welche die Wolkenelectricität durch Vertheilung electrisch macht, durch die Wirkung der metallischen Spitze auszugleichen und dadurch der Funkenentladung vorzubeugen, und macht im Falle des Einschlagens den einschlagenden Blitz dadurch unschädlich, dass er den Entlandungsstrom auf einer metallischen Leitung unmittelbar zur Erde abführt. — Soll ein Blitzableiter seinen Zweck erfüllen, so muss er aus den besten Electricitäts-

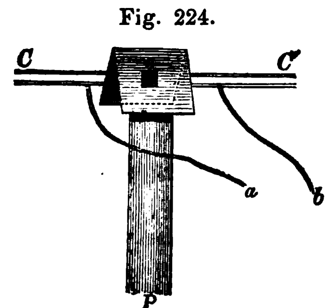
leitern bestehen, über die höchsten Theile des Gebäudes hervorragen und ohne Unterbrechung auf dem kürzesten Wege an einen feuchten Ort des Erdbodens geführt werden.

Der Blitzableiter besteht aus einer mit einer vergoldeten oder platinirten Spitze versehenen Auffangestange, von der eine starke Metall- am besten Kupferstange, Leitstange genannt, zur Erde führt, wo sie sich in ein Drahtbündel auflöst, welches tief in feuchte Erde eingegraben wird. Alle grössern Metallmassen des Gebäudes müssen mit der Leitstange leitend verbunden und es müssen bei grösserer Ausdehnung des Gebäudes mehrere Auffangestangen angebracht werden, da eine Auffangestange nur einen beschränkten Wirkungskreis hat.

b) Die Luftelectricität übt durch ihre Entladungen zur Zeit eines Gewitters auch auf die Telegraphenleitung einen gefährlichen Einfluss. Durch Gewitterwolken, die sich in die Drahtleitungen entladen, oder aus der Ferne kräftige Ströme in denselben hervorrufen, wird das Telegraphiren nicht nur unsicher, sondern selbst für einige Zeit ganz unmöglich. Die in den Leitungsdrähten auftretenden Strömungen versetzen die Signalapparate in Thätigkeit und geben unregelmässige Zeichen, und wenn sie sehr stark sind, so beschädigen sie oder zerstören den Telegraphen. — Um die damit beschäftigten Personen, so wie die Telegraphen-Apparate vor dieser Gefahr zu schützen, hat man telegraphische Blitzableiter, welche sich auf Steinheil's Entdeckung gründen, dass ein starker electrischer Strom geeigneter ist, durch einen kurzen schlechten Leiter als Funke durchzubrechen, als einen langen ununterbrochenen Weg zu nehmen, während der gewöhnliche galvanische Strom der Batterie den letzteren Weg nimmt.

Faraday hat zuerst einen solchen Blitzableiter ausgeführt. In der Nähe des Stationsgebäudes ist die Drahtleitung in zwei Theile C, C' (Fig. 224) getrennt, die auf einem starken Pfahle P unter einem Dache so angebracht sind, dass die Drahtenden durch einen ganz kleinen Zwischenraum o von einander getrennt sind. Zu beiden Seiten des Pfahles sind an die Hauptleitung zwei, wenigstens 20 Fuss lange feine Kupferdrähte a, b gelöthet, die in das Stationszimmer zum Telegraphen-Apparate führen. Diesen Zwischenraum o überspringen nun die gefährlichen von der Luftelectricität hervorgerufenen Strömungen und gehen gefahrlos an der Station vorüber. — Sicherer ist es noch, jedes der zwei Drahtenden C, C' in eine senkrecht auf ihre Richtung gestellte Kupferplatte enden zu lassen, so dass die Platten parallel stehen und

Fig. 224.



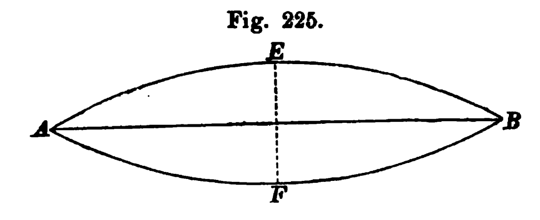
von einander durch einen kleinen Zwischenraum isolirt sind; von jeder Platte geht dann ein feiner Draht zu dem Telegraphen-Apparate. Im ungünstigsten Falle werden die feinen Verbindungsdrähte abgeschmolzen, aber der gefahrbringende Strom gelangt nie in die Stationslocalitäten.

Achter Abschnitt.

A. Wellenbewegung.

§. 1. **Schwingungen einer gespannten Saite.** Wird eine gespannte Saite *AB* (Fig. 225) durch Streichen mit dem Violinbogen oder durch Anschlagen aus der Gleichgewichtslage in die Stellung *AEB* gebracht, so wird dadurch eine Elasticitätskraft, proportional der Verschiebung, geweckt, welche die Saite mit wachsender Geschwindigkeit ihrer Ruhelage zutreibt. Die Saite bewegt sich dann in Folge ihrer Trägheit jenseits mit abnehmender Geschwindigkeit fort, erreicht dort einen Ausschlag *AFB* gleich dem ursprünglichen Ausschlage in der Lage *AEB*, kehrt wieder zurück, erreicht abermals auf der entgegengesetzten Seite denselben Ausschlag und wiederholt so den Hin- und Hergang.

Fig. 225.



Die Grösse des Ausschlages der Saite wird Schwingungsweite oder Amplitude genannt, daher sagt man, die Schwingungsweite ist auf beiden Seiten der Gleichgewichtslage gleich gross. Ein vollständiger Hin- und Hergang, von *E* nach *F* und zurück nach *E*, heisst eine Schwingung, und die dazu erforderliche Zeit die Schwingungsdauer.

Ein Punkt *E* der Saite schwingt gerade so um seine Ruhelage, wie ein einfaches Pendel; wie das Pendel durch die Schwerkraft, so wird die Saite durch die Elasticität bewegt. Die Schwingung der Saite ist aber eine Doppelschwingung des Pendels.

a) Transversale Schwingungen. Die Schwingungen der Saite nennt man transversal, weil die Theilchen senkrecht auf die ursprüngliche Lage der Saite schwingen.

b) Stehende Schwingungen. Die Schwingungsweise, wobei alle Theilchen der schwingenden Masse zu gleicher Zeit die schwingende Bewegung beginnen, gleichzeitig durch die Ruhelage durchgehend die grösste Geschwindigkeit erlangen und gleichzeitig die Grenzen ihrer Schwingungsweiten erreichen, heisst man eine stehende Schwingung.

Auf ähnliche Weise wie die Theile einer Saite gerathen auch die Theilchen anderer elastischer Körper, wenn ihr Gleichgewicht gestört wird, in eine schwingende Bewegung.

§. 2. **Gesetze der einfachsten geradlinigen Schwingungen.** In irgend einem elastischen Medium denken wir ein Theilchen A (Fig. 226) durch einen Impuls aus seiner Ruhelage A sehr wenig verschoben, so dass die Grösse der Verschiebung die Elasticitätsgrenze nicht überschreitet. Innerhalb der Elasticitätsgrenze ist die geweckte Elasticitätskraft p der Grösse der Verschiebung s proportional, also $p = \mu\ s$; diese Kraft treibt das verschobene Theilchen in seine Gleichgewichtslage zurück. Vorausgesetzt, der Impuls hätte das Theilchen aus der Gleichgewichtslage A nach B verschoben, so wird es durch die geweckte Elasticität getrieben, wie oben die Saite, mit dem Maximum der Geschwindigkeit V in der Ruhelage A ankommen, über dieselbe hinausgehend sich bis B' entfernen, so dass $AB = AB'$, und von dort wieder durch A nach B zurückgehen etc. — Die Geschwindigkeit ändert sich nach denselben Gesetzen wie beim Pendel.

Fig. 226.

B' — A — m — B

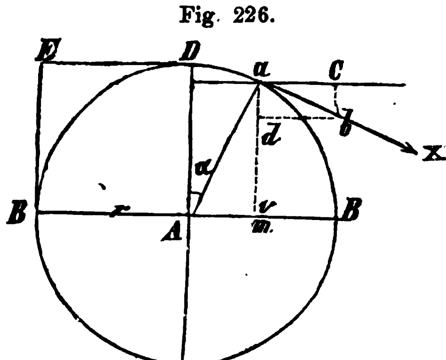
Einen Hin- und Hergang von B durch A nach B' und von B' zurück nach B heisst man Schwingung oder Oscillation, die grösste Entfernung von der Ruhelage, also AB, nennt man die Schwingungsweite oder Amplitude; die grösste Geschwindigkeit beim Durchgange durch die Ruhelage die Schwingungsintensität; die Zeit, während welcher eine Schwingung vollbracht wird, die Schwingungsdauer.

Den Bewegungszustand, d. i. die Richtung, die Grösse der Geschwindigkeit und den Abstand oder Elongation von der Ruhelage bezeichnet man zusammen mit dem Ausdrucke: Phase der Schwingung. Die Zeit, welche bis zum Eintreten einer

gewissen Phase verfliesst, heisst **Phasenzeit.** Die Zeit von einer Phase gerechnet bis zum Wiedererscheinen derselben Phase ist gleich der **Schwingungsdauer,** indem das Theilchen während dieser Zeit alle möglichen Phasen durchläuft.

Die Gesetze der Schwingungsphase. Der in seiner Ruhe gestörte Punkt A (Fig. 226) schwingt innerhalb der Elasticitätsgrenze derart um seine Ruhelage, wie ein Pendel von gleicher Amplitude AB. Erhält das Pendel in seinem **Wendepunkte** B_1 durch einen senkrecht zu seiner Schwingungsrichtung geführten Stoss B_1E jene grösste Geschwindigkeit V, die es in A erlangt, so beschreibt A wie ein Centrifugal-Pendel einen Kreis.

Fig. 226.



Die Geschwindigkeit im Kreise ist **gleichförmig,** denn bei einer Centralbewegung sind bei gleichen Abständen auch die Geschwindigkeiten gleich. Im Punkte B_1 hat es in der Tangente das Maximum der Pendelgeschwindigkeit V, da aber die Bewegung **gleichförmig** ist, so ist die Geschwindigkeit im Kreise gleich dem Maximum der Pendelgeschwindigkeit V.

Zieht man zu einem beliebigen Punkte a die Tangente ax, setzt $ab = V$ und zerlegt ab in zwei rechtwinklige Componenten $ad \parallel AD$ und $ac \parallel AB$, so ist $ac = v$ die Geschwindigkeit in der Richtung AB, d. i. jene Geschwindigkeit, welche das längs B_1B schwingende Pendel oder ein Theilchen des elastischen Mediums bei der Elongation $Am = s$ im Punkte m besitzt.

Nun ist $\quad ac = ab \cos. \alpha$ oder $v = V \cos \alpha$.

Ist T die Dauer der Pendelschwingung, so ist T auch die Umlaufszeit im Kreise vom Halbmesser r, welcher der Amplitude gleich ist; daher der Kreisumfang als Weg $2r\pi = VT$.

Zählt man die Zeit t der Schwingung (**Phasenzeit**) **von der Ruhelage A aus,** so ist der Weg $aD = V.\,t$ und als

Bogen $= r.\alpha$, also ist der Winkel (nach Substitution des Werthes für V)

$$\alpha = \frac{Vt}{r} = \frac{2\pi t}{T}, \quad \text{daher}$$

$$v = V.\cos.\frac{2\pi t}{T}$$

ferner ist die Elongation $s = Am = r.\sin \alpha$ also

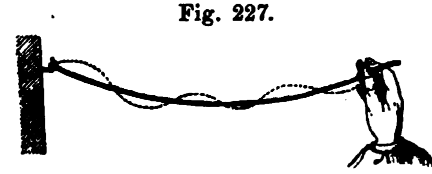
$$s = r.\sin.\frac{2\pi t}{T}.$$

Die beiden Ausdrücke geben die Geschwindigkeit v und den Weg s des schwingenden Theilchens in einer beliebigen Zeit t (gerechnet von der Ruhelage an), daher ist durch sie die Schwingungsphase vollkommen bestimmt.

§. 3. Fortschreitende Wellenbewegung.

a) Fortschreitende Seilwellen. Man befestiget an einer Wand (Fig. 227) ein langes mürbes Seil und hält es am freien Ende mit der Hand, so dass es etwas gespannt ist. Bewegt man jetzt die Hand regelmässig auf- und abwärts, so entstehen am Seile wellenförmige Biegungen, welche am Seile von der Hand zur Wand, und von der Wand dann zur Hand zurücklaufen.

Fig. 227.



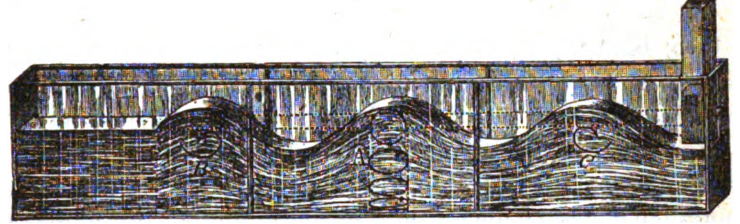
b) Wasserwellen. Lässt man in ein ruhig stehendes Wasser einen Stein fallen, so entstehen kreisförmige Wellen, und verbreiten sich von dem Punkte der Ruhestörung wie von einem Mittelpunkte nach allen Seiten mit gleichförmiger Geschwindigkeit. Diese Wellen bestehen aus abwechselnden Erhöhungen und Vertiefungen; die Erhöhung heisst Wellenberg, die Vertiefung Wellenthal.

Die Wassertheilchen schreiten mit den Wellen nicht fort, sondern sie heben und senken sich blos, wie dies ein auf dem Wasser schwimmendes Stückchen Holz zeigt.

Die Ursache der Entstehung von Wasserwellen nach erfolgter Gleichgewichtsstörung ist die Schwerkraft, welche die Theilchen in ihre ursprüngliche Lage zurückzuführen sucht. — Die Gebrüder Weber haben die Beschaffenheit der Wasser-

wellen in einer besonders dazu eingerichteten **Wellenrinne** (Fig. 228) studirt. Dem Wasser wurde Bernsteinpulver beigemengt, um aus den Bewegungen der Staubtheilchen die Bewe-

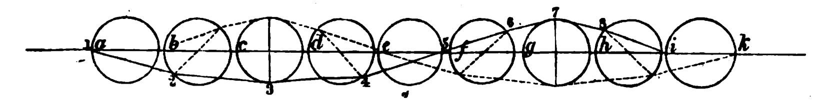
Fig. 228.



gung der Wassertheile zu erkennen. Wurden die Wellen erregt, so bemerkten sie, dass die Theilchen an der Oberfläche beinahe kreisförmige in verticalen Ebenen liegende Bahnen beschreiben; die tiefer liegenden beschreiben Ellipsen, deren verticaler Durchmesser desto kleiner erscheint, je tiefer die Theilchen liegen, bis man endlich an noch tiefer liegenden nur horizontale Oscillationen beobachtet. Je weiter ein Theilchen von dem Orte der Wellenerregung entfernt ist, desto später beginnt es seine Schwingungsbahn zu beschreiben.

Gestalt der Wasserwellen. Denken wir uns (Fig. 229) die an der Oberfläche liegenden Theilchen *a, b, c, d, e, f, g, h, i, k,* während sie an der Wellenbewegung theilnehmen und kreis-

Fig. 229.



förmige Bahnen beschreiben, und nehmen an, *a* habe in der Zeit T gerade seinen Umlauf vollendet, während welcher die gleichförmig fortschreitende Bewegung gerade von *a* bis *i* gekommen ist. Liegen die acht Theilchen gleichweit auseinander, so ist jedes folgende um $\frac{T}{8}$ später als das vorhergehende angeregt worden und hat daher auch in jedem Augenblick um $\frac{1}{8}$ seines Kreislaufes weniger zurückgelegt, als das unmittelbar vorhergehende Theilchen; so dass *b* noch an der Stelle *2*, *c* in *3*, *d* in *4*, *e* in *5*, *f* in *6*, *g* in *7*, *h* in *8* zu treffen ist. Verbindet man diese

gegenseitigen Positionen durch eine Curve *1 2 3 4 5 6 7 8 i*, so hat man die äussere Gestalt ihrer Lage mit dem Wellenberge *5 6 7 8 i* und dem Wellenthale *1 2 3 4 5* vor sich. Im Verlaufe der nächsten Zeit $\frac{T}{2}$ vollendet jedes Theilchen den halben Kreislauf, ist also seiner jetzigen Position diametral gegenüber (wie es die diametral gezogenen Linien andeuten) und die Welle ist nun in die punktirte übergegangen, während sie zugleich um die Hälfte ihrer Länge fortgeschritten ist. — Also Wellenberg und Wellenthal wechseln nach jeder halben Schwingungsdauer der Theilchen mit einander und die Form der Welle schreitet zugleich um einen dieser Theile vorwärts, die Theilchen aber zu ihrer Ruhelage zurück.

Die Länge (*1 a* bis *i*) von Berg und Thal nennt man eine Wellenlänge.

Die Zeit *T*, während welcher ein Theilchen *a* seine Schwingung vollendet, oder die Schwingungsdauer eines Theilchens ist also gleich der Zeit, während welcher sich die Bewegung um eine Wellenlänge fortpflanzt.

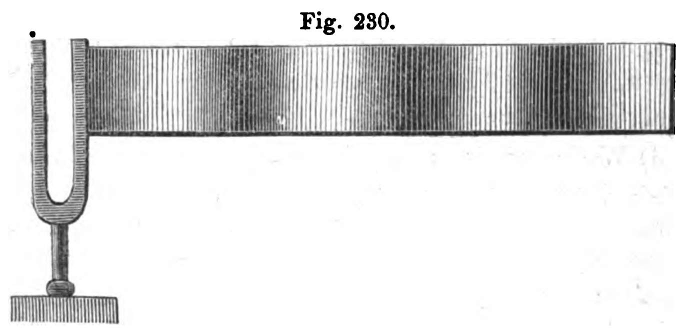
Die von verschiedenen Orten ausgehenden Wellen können sich ohne gegenseitige Störung in der Fortsetzung des Weges kreuzen. Diese Erscheinung nennt man die Uebereinanderlagerung oder Coëxistenz der Wellen; darnach können sich die Wellen an den Durchkreuzungstellen verschiedentlich zusammensetzen, erscheinen aber beim Auseinanderlaufen wieder in ihrer ursprünglichen Form. — Stösst eine Welle an eine feste Wand, so ist der getroffene Ort ein neuer Wellenmittelpunkt, d. h. die Wellen werden zurückgeworfen oder reflectirt.

c) Luftwellen. Wird eine Stimmgabel an einer Zinke angeschlagen, so schwingen ihre beiden Zinken um ihre Ruhelage (Fig. 230) ähnlich wie ein im Schraubstock eingeklemmter elastischer Stahlstreifen, nachdem man sein freies Ende angeschlagen hat.

Indem der Stahlstreifen oder die Zinke der Stimmgabel von links nach rechts schwingt, stosst sie die Lufttheilchen vor sich weiter und verdichtet die nächste Luftschichte. Während die Zinke zurückschwingt und hinter sich einen luftverdünnten Raum erzeugt, überträgt die verdichtete Luftschichte den erhaltenen

Stoss und die Verdichtung auf ihre Nachbarschichte, ähnlich wie die elastischen Ballen der Stossmaschine. Dadurch pflanzt sich die

Fig. 230.



einmal entstandene Verdichtung in der Luft fort, und ihr nach folgt eine ebenso grosse Verdünnung.

Die Länge vom Anfange einer Verdichtung bis zum Ende der sich anschliessenden Verdünnung oder bis zur nächsten Verdichtung nennt man eine Luftwelle. Im Verlaufe einer Stimmgabelschwingung geht eine ganze Welle über dieselbe Luftschichte, daher machen die Lufttheilchen in derselben Zeit eine Schwingung. Die Schwingungsdauer der Theilchen ist gleich jenen des Wellenerregers und gleich der Zeit, während welcher sich die Bewegung um eine Welle fortpflanzt.

Schwingt die Stimmgabel fort, so folgen die Luftwellen, die sich bei jeder Schwingung bilden, unmittelbar auf einander und bilden einen sogenannten Wellenzug.

Der in der Zeichnung sichtbare Theil des Wellenzuges entspricht der Fortpflanzung der Luftwellen in einer Röhre von der Breite des Wellenzuges. In freier Luft breitet sich aber die Störung des Gleichgewichtes und der Wellenbildung nach allen Richtungen im Raume aus.

Explodirt z. B. eine Knallgasblase in freier Luft, so pflanzt sich eine Luftwelle nach allen Richtungen gleichmässig fort. Wir müssen das Bild ergängen, indem wir um die Zinke als Mittelpunkt die Zeichnung in Gedanken zu einer concentrischen Scheibe erweitern, so dass sie den Kreiswellen im Wasser gleicht, und um einen Durchmesser sich dreht, so dass sie eine Kugel beschreibt. Diese Kugel besteht dann aus concentrischen, verdichteten und verdünnten Luftschalen.

Die äussere Begrenzung einer in freier Luft fortschreitenden Luftwelle ist also eine Kugeloberfläche. In freier Luft pflanzen sich also die Luftwellen in Kugelform fort.

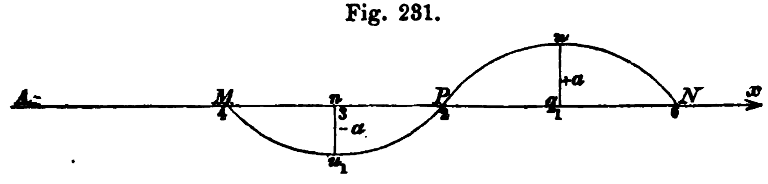
Die Luftwellen bestehen aus Longitudinal-Schwingungen, denn die Theilchen schwingen längs der Fortpflanzungsrichtung hin und her.

d) Wellenbewegung in elastischen Medien überhaupt. Denkt man sich anstatt der vor der Stimmgabel gezeichneten Luftsäule eine Wassersäule, die in einer Röhre eingeschlossen ist, oder eine Säule oder einen Stab von einer andern Substanz, dann anstatt der Zinke einen Querschnitt des Körpers, der irgendwie in longitudinale Schwingungen versetzt wurde; so stellt die Zeichnung die gegenseitige Stellung der Querschnitte vor, während sich die longitudinale Schwingung durch den Körper fortpflanzt.

§. 4. **Gesetze der fortschreitenden Wellenbewegung.** Die an irgend einem Orte des elastischen Mediums einmal entstandene Bewegung ergreift auch die durch wechselseitige Einwirkung aneinander gruppirten Theilchen, und so geschieht es, dass sich die in einem Theile des Mediums eingetretene Störung allen in Wechselbeziehung stehenden Theilchen mittheilt, d. h. die Störung pflanzt sich durch das ganze elastische Medium fort.

Angenommen die Störung wäre eben in M (Fig. 231) angelangt, wenn der Wellenerreger A seine Schwingung von Neuem

Fig. 231.



beginnt, und pflanze sich während Einer Schwingungsdauer T des Wellenerregers von M bis N gleichförmig fort. Um zu erfahren, was mit den in der Fortpflanzungsrichtung Ax liegenden Theilchen geschieht, theilen wir die Strecke MN in vier gleiche Theile und bedenken, dass sich jede Schwingungsphase dem elastischen Medium mittheilt, und folglich das Theilchen M gleichzeitig mit A seine Schwingung beginnt und vollendet. T ist die

Schwingungsdauer des Erregers und der Theilchen des Mediums zugleich, und MN der Weg der Wellenbewegung in der Zeit T.

In dem Augenblicke als M seine Schwingung vollendet, ist also für N die Phasenzeit $t = o$, für q ist $t = \frac{T}{4}$, für $P_2 \ldots t = \frac{T}{2}$, für $n \ldots t = \frac{3T}{4}$ und für $M \ldots t = T$.

Wir finden die Schwingungsphasen dieser Theilchen, indem wir die gefundenen Ausdrücke (1) auf sie anwenden:

$$s = a \sin \frac{2\pi t}{T}, \text{ und } v = V \cos \frac{2\pi t}{T},$$

N ist, da es eben angeregt werden soll, noch in der Ruhelage; den Zustand für q_1 finden wir durch die Substitution $t = \frac{T}{4}$

$$s_1 = a \sin \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{4} = + a,$$

$$v_1 = V \cos \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{4} = o,$$

und ebenso für p setzend $t = \frac{T}{2}$

$$s_2 = a \sin \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{2} = o,$$

$$v_2 = V \cos \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{2} = - V,$$

und für n setzend $t = \frac{3T}{4}$

$$s_3 = a \sin \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{3T}{4} = - a,$$

$$v_3 = V \cos \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{3T}{4} = o,$$

endlich $t = T$ für M

$$s_4 = a \sin 2\pi = o,$$

$$v_4 = V \cos 2\pi = + V.$$

Zur Versinnlichung tragen wir die Elongationen $+ a$ und $- a$ als Senkrechte in q_1 und n auf. Die Amplitude der zwischen N und q_1 liegenden Theilchen nimmt von N gegen q_1 hin so zu, wie der Sinus von 0^0 gegen 90^0, daher liegen sie in einem Bogen

Nu; von *u* gegen P_2 hin nimmt der Sinus ab, die Theilchen liegen wieder in dem Bogen uP_2 etc. Durch die Verbindung dieser Punkte erhalten wir die Schwingungscurve.

Die Figur wie Mu_1PuN heisst eine Welle, Mu_1P ihr Thal, *PuN* ihr Berg, *a* die Höhe des Berges, *MN* die Länge der Welle, *PuN* ihr Vordertheil, Mu_1P ihr Hintertheil.

Bezeichnet man mit λ die Wellenlänge, d. i. den Weg *MN*, und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Impulses mit *c*, so ist

$$\lambda = cT \ldots (1).$$

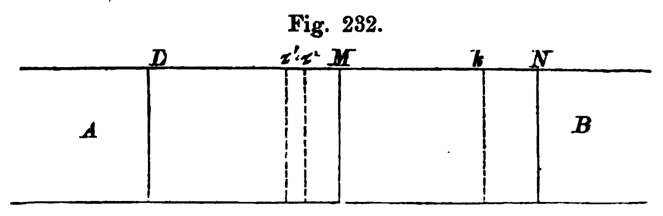
a) Transversale und longitudinale Schwingungen. Bei der Fortpflanzung der Wellenbewegung können die ursprünglich in der Fortpflanzungsrichtung liegenden Theilchen entweder parallel mit dieser Richtung oder darauf senkrecht verschoben werden; im ersten Falle nennt man die Schwingungsweise longitudinal, im zweiten transversal. Bei der transversalen Schwingung kann die entworfene Curve (Fig. 231) als ein treues Bild der Gruppirung schwingender Theilchen angesehen werden; bei der longitudinalen aber erscheinen die Theilchen einmal, z. B. in dem Vordertheile, zusammengedrängt, daher das Medium verdichtet, in dem Hintertheile aber ebenso stark aus einandergerückt, und dadurch das Medium verdünnt.

Die Schwingungen einer gespannten Saite, so wie auch die Aetherschwingungen des Lichtes pflanzen sich in transversalen Schwingungen fort, die Schallschwingungen einer Saite aber in longitudinalen.

b) Aus der Schwingungscurve ersieht man, dass die Theilchen, die um $\frac{\lambda}{2}$ aus einander liegen, gerade dieselben aber im entgegengesetzten Sinne genommenen Phasen haben. Dasselbe was an Theilchen, die um $\frac{\lambda}{2}$ von einander stehen, beobachtet wird, tritt aber nach Verlauf von $\frac{T}{2}$ an einem und demselben Theilchen auf, wie es aus dem Begriffe der Schwingung oder aus den allgemeinen Formeln sich ergibt. Nach Verlauf von $\frac{T}{2}$ tritt also an die Stelle eines Wellenberges ein Wellenthal und umgekehrt, man sagt die Welle rückt um eine halbe Wellenlänge weiter.

§. 5. **Fortpflanzungs-Geschwindigkeit longitudinaler Schwingungen.** Denken wir die Luft, durch welche sich der Schall in Form von Luftwellen fortpflanzt, befinde sich in einer Röhre *AB* (Fig. 232); *L*, *M*, *N* seien drei absolut leicht verschiebbare Stempel, welche drei Querschnitte vorstellen.

Fig. 232.



Tritt die Luftwelle bei *A* ein, so treibt der verdichtete Theil den Stempel *L* rasch gegen den zweiten Stempel *M* und verdichtet das Gas zwischen *LM*.

Das Gas schiebt vermöge der Elasticität den Stempel *M* fort und gibt dadurch den erhaltenen Stoss und die Verdichtung an *MN* ab. Je schneller sich der Querschnitt *M* fortbewegt oder je schneller das Gas vermöge seiner Elasticität durch den Querschnitt (als Oeffnung gedacht) in den Raum des nächsten sich fortbewegt, desto schneller der Austausch des Stosses und die Fortpflanzung.

In der Aërodynamik erhielten wir aber für die Geschwindigkeit des Gasstromes durch eine Oeffnung

$$v = \sqrt{2g \cdot \frac{e}{s}} \text{ oder } = \varkappa \sqrt{\frac{e}{D}},$$

wo e die Expansivkraft, D die Dichte des Gases und a eine constante Grösse ist. Denselben Einfluss haben Expansivkraft und Dichte auf die Bewegung des Querschnittes *M*, nur wird der Proportionalitätsfactor a hier einen anderen Werth μ haben, also ist die Geschwindigkeit des Querschnittes *M* und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit v des Schalles

$$v = \mu \cdot \sqrt{\frac{e}{D}}$$

proportional der Quadratwurzel aus der durch die Dichte dividirten geweckten Electricität.

Dieses Gesetz gilt auch dann, wenn die Röhre mit einer anderen elastischen Masse ausgefüllt ist und einen beliebigen

Körper vorstellt. So wie sich der Querschnitt des M Gases etwas fortschiebt, so bewegt sich in einem flüssigen oder festen Körper ein Querschnitt, indem er den Stoss abgibt. — Das Bild des Strömens, das uns beim Gase behilflich war, muss jedoch durch die Vorstellung des Schwingens der Querschnitte um ihre Ruhelage ersetzt werden.

Je grösser also die Expansivkraft im Verhältniss zur Dichte ist, desto grösser die Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Die Quadratwurzel aus diesem Verhältniss ist für Wasserstoff viermal grösser als für Sauerstoff; und in der That pflanzt sich der Schall im Wasserstoff viermal schneller fort als im Sauerstoff.

Genauer: Fig. 232 stelle uns einen prismatisch gestalteten elastischen Körper vom Querschnitte $= 1$ vor; L, M, N seien drei im Zustande der Ruhe gleichweit von einander abstehende Querschnitte desselben; $LM = MN = \alpha$ eine geringer Entfernung, die der fortschreitende Impuls in der sehr kleinen Zeit τ zurücklegt. Die Theilchen der Querschnitte schwingen, während sie an der Fortpflanzung theilnehmen, mithin schwingen die Querschnitte selbst hin und her.

Fassen wir den Vorgang der Schwingung in dem Augenblick in's Auge, wo der Querschnitt L in Folge des von A nach B gehenden Impulses gerade seine Ruhelage erreicht hat, so wird der Querschnitt M noch nicht die Ruhelage erreicht haben, denn er ist um τ später zur Schwingung angeregt worden, wird also erst nach Verlauf von τ in seine Ruhelage kommen, er sei daher in z. Ebenso wird der Querschnitt N noch in k sein, von wo er in 2τ erst die Ruhelage erreichen wird, denn er ist um 2τ später als L angeregt worden. In Folge dieser Stellung der Querschnitte erscheint das ursprüngliche Volumen $\alpha = LM = MN$ verändert, und die Aenderung der Volumina ruft zu beiden Seiten des Querschnittes z Elasticitätskräfte hervor, deren Unterschied auf den Querschnitt z wirkt. Nun erscheint Lz um Mz kleiner als LM, zk aber um zz' kleiner als MN, denn kN ist $= Mz'$, da die Stellung z' jener in k entsprechen soll. Die geweckte Elasticitätskraft ist aber proportional der Aenderung der Dichte und diese der auf die Volumseinheit entfallenden Volumänderung. Man sagt kurz: die Elasticität ist proportional der Aenderung der Volumseinheit. Ist E die in Lz und E_1 die in zk geweckte Elasticitätskraft, so hat man, wenn λ der Proportionalitäts-Factor ist,

$$E = \lambda \,.\, \frac{Mz}{\alpha},$$

$$E_1 = \lambda \,.\, \frac{zz_1}{\alpha}\,.$$

Weil die in gleichen Zeiten zurückgelegten Wege eines schwingenden Körpers in der Nähe der Ruhelage grösser sind, so ist $Mz > zz^1$, und so erhält man für die auf den Querschnitt z beschleunigend wirkende Kraft

$$f = E - E_1 = \frac{\lambda}{\alpha}(Mz - zz^1) \dots (1).$$

In der Dynamik haben wir aber als das Maass jeder continuirlichen Kraft, namentlich wenn sie variabel ist, wie die geweckte Elasticität, gefunden

$$f = m \cdot \frac{\gamma}{\tau}.$$

Nun ist die Masse m gleich der Dichte D multiplicirt mit dem Volumen α, also

$$m = D \cdot \alpha; \text{ und } \gamma = \frac{Mz}{\tau} - \frac{zz^1}{\tau},$$

mithin
$$f = \frac{D\alpha}{\tau^2}(Mz - zz^1) \dots (2).$$

Wir haben nun zwei Ausdrücke (1) und (2) für eine und dieselbe Kraft, die wir gleichsetzen, und erhalten berücksichtigend, dass $\frac{\alpha}{\tau} = v$ ist,

$$\frac{\alpha^2}{\tau^2} = \frac{\lambda}{D} \text{ und } v = \sqrt{\frac{\lambda}{D}} \dots (3).$$

Um diesen für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit v gefundenen Ausdruck zur wirklichen Berechnung anwenden zu können, muss man ihn etwas umändern. Denken wir uns aus dem elastischen Medium einen Würfel, d. i. einen Körper vom Volum $= 1$ gebildet, so ist sein Gewicht gleich seinem specifischen Gewichte $S = Dg$. Belasten wir diesen Würfel mit S, und es erleide dadurch diese Volumseinheit die Aenderung δ, so ist die in ihm geweckte Elasticitätskraft $S = \lambda\delta$, also

$$Dg = \lambda\delta$$

und somit
$$v = \sqrt{\frac{g}{\delta}} \dots (4),$$

d. h. die Fortpflanzungsgeschwindigkeit eines longitudinalen Impulses in einem elastischen Medium ist gleich der Quadratwurzel aus einem Quotienten, dessen Zähler die Acceleration und der Nenner die Volumänderung eines mit seinem eigenen Gewichte belasteten Würfels dieses Mediums ist.

Nach dem Ausdrucke (4) lässt sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in einem gleichförmig dichten elastischen Medium leicht berechnen. Man hat gefunden, dass sich der Schall durch feste Körper am schnellsten fortpflanzt, weniger schnell durch tropfbar-flüssige und am langsamsten durch Gase. Die nach (4) berechnete Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft beträgt nur $^5/_6$ von der beobachteten. La Place hat die Ursache dieses Unterschiedes in dem Einflusse der in den verdichteten Wellentheilen auftretenden Wärme gefunden. Aus (3) folgt mit Berücksichtigung, dass $E = S = \lambda\delta$ ist, auch $v = \sqrt{\frac{E}{D\delta}}$, wodurch wir ersehen, wie die Geschwindigkeit mit der Expansivkraft und der Dichte der Gase zusammenhängt.

Nach La Place hat man für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Gasen und Dämpfen zu setzen $v = \sqrt{\frac{gh \,.\, k}{d}}$, wo g die Acceleration, h die Quecksilbersäule, die vom Gase bei 0° C. gehoben wird, d die Dichte des Gases im Verhältniss zu Quecksilber, und k das Verhältniss der specifischen Wärme des Gases bei constantem Druck zu der specifischen Wärme bei constantem Volumen bedeutet.

§. 6. Gesetze transversaler Schwingungen der Saite.

1. Die Schwingungsdauer. Für die Schwingungsdauer des einfachen Pendels haben wir $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$. Die Kraft p, welche das Pendel oder ein schwingendes Theilchen eines elastischen Mediums in seine Ruhelage zurückzuführen sucht, ist proportional seiner Verschiebung oder der Elongation s, also $p = \mu \,.\, s$. — Erreicht das schwingende Pendel (Fig. 60 auf Seite 163) den beliebig kleinen Ausschlag β, so ist seine Elongation

$$mZ = s = l\beta, \text{ folglich } p = \mu\beta \,.\, l.$$

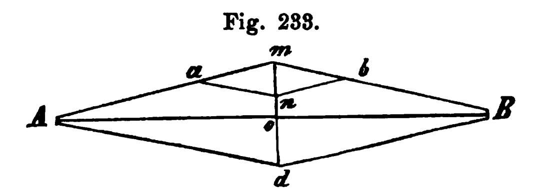
Bezeichnet q das Gewicht des einfachen Pendels (oder des Theilchens), so zieht es die Kraft $p = q \,.\, \sin \beta = q \,.\, \beta$ in die Ruhelage zurück; daher ist $q = \mu \,.\, l$.

Bezeichnet man mit T die Schwingungsdauer einer Saite, so ist $T = 2t$, und substituirt den Werth für l aus der letzten Gleichung, so hat man

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{q}{\mu g}}.$$

Um die Unbekannte μ durch Bekanntes auszudrücken, betrachten wir die schwingende Saite AB (Fig. 233); die Punkte m und o liegen in der Mitte derselben. Die Spannung P ist beiderseits von m gleich, also $P = am = bm$. Die Diagonale md stellt also die Kraft R vor, die den Punkt m in seine Ruhelage zurückzuführen sucht, also ist $R = p = \mu \,.\, s$. — Die Saiten des Parallelogramms stellen die Kräfte vor, also

Fig. 233.



$$P : R = am : mn,$$

weil aber Ad zu an parallel ist, so hat man auch $am : mn = Am : md$; Nun ist $Am = \frac{l}{2}$ und $md = 2s$, wenn die Länge $AB = l$ und die Amplitude $mo = s$ gesetzt wird; also ist auch

$$P : \mu s = \frac{l}{2} : 2s,$$

folglich die Unbekannte $\mu = \frac{4P}{l}$. Daraus ergibt sich

$$T = \pi \sqrt{\frac{ql}{Pg}},$$

Die Grösse q bezeichnet das Gewicht des Theilchens m und ist dem Gewichte der ganzen Saite proportional, daher hat man, wenn S das specifische Gewicht D die Dichte und d den Durchmesser der Saite bezeichnet,

$$q = \alpha \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot lS, \text{ und wenn } \frac{\pi \sqrt{\pi\alpha}}{2} = \eta \text{ ist, auch}$$

$$T = \eta \cdot ld \cdot \sqrt{\frac{D}{P}},$$

d. h. die Schwingungsdauer der Saite ist der Länge, dem Durchmesser und der Quadratwurzel aus der Dichte der Saite direct, der Quadratwurzel aus der Spannung aber umgekehrt proportional.

2. Die Anzahl Schwingungen per Secunde $= n$; also $nT = 1$, mithin

$$n = \frac{1}{T} = \xi \cdot \frac{1}{ld} \sqrt{\frac{P}{D}} \ldots \text{d. h.?}$$

3. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit $= v$. Schwingt die Saite als Ganzes und bezeichnet λ die Wellenlänge, so ist $l = \frac{\lambda}{2}$ und $vT = \lambda$, also

$$v = \frac{\lambda}{T} = \gamma \cdot \frac{1}{d} \sqrt{\frac{P}{D}},$$

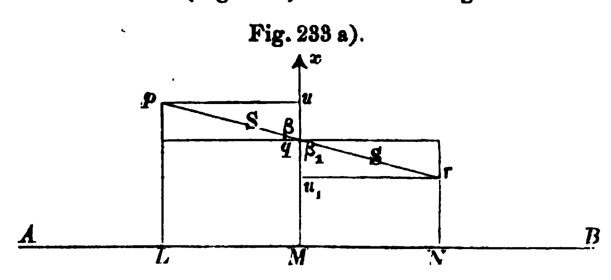
d. h. die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der transversalen Schwingungen ist der Quadratwurzel aus der Spannung direct, dem

Durchmesser und der Quadratwurzel aus der Dichte aber umgekehrt proportional.

Genauer kann man dieses in folgender Weise nachweisen:

a) In der Saite $A\,B$ (Fig. 231a) heben wir drei gleich weit von einander

Fig. 233 a).



abstehende Punkte L, M, N besonders hervor und beobachten diese während der Schwingung. $LM = MN = \alpha$ sei eine sehr kleine Grösse. Nehmen wir an, die Theilchen von AB bleiben bei ihren senkrecht auf AB vor sich gehenden Bewegungen stets in der nämlichen Ebene und entfernen sich nur wenig von ihrer Gleichgewichtslage, so dass, wenn L, M, N in p, q, r anlangen, weder die Spannung S, welche die Saite in der Ruhelage hat, noch die Länge der Stückchen pq, qr von LM und MN merklich abweicht Der von A gegen B mit der Geschwindigkeit v fortschreitende Impuls lege das kleine Stückchen α in der sehr kleinen Zeit τ zurück; und somit wird M erst nach Verlauf von τ, N nach Verlauf von 2τ die laterale Abweichung des L erlangen.

Wir wollen untersuchen, welchen Kräften das mittlere Theilchen M in seiner neuen Lage q ausgesetzt ist. Die beiderseits wirkenden gleich starken Spannungeu S werden wir in Componenten zerlegen, und zwar in solche, die in die Richtung Mx fallen und in solche, die darauf senkrecht stehen. Die in die Richtung Mx fallenden sind offenbar $S \cos \beta$ und $S \cos \beta'$; die darauf senkrechten brauchen wir aber nicht zu berechnen, da sie sich aufheben müssen, wenn M sich in der Richtung Mx bewegen, d. h. transversal, wie angenommen, schwingen soll. Vereinigen wir die mit Mx zusammenfallenden Componenten zu einer Resultirenden f, so ist

$$f = S(\cos \beta - \cos \beta') \ldots (1).$$

Die Mechanik gibt uns aber für diese continuirlich variable Kraft den allgemeinen Ausdruck

$$f = M \frac{\gamma}{\tau},$$

in den wir nur die hier auftretenden Werthe substituiren:

$$\gamma = \frac{qu}{\tau} - \frac{qu_1}{\tau},$$

und wenn M die Masse des Stückchens α, m aber die der ganzen Saite l ist, so

$$M : \alpha = m : l \text{ oder } M = \frac{m\alpha}{l},$$

mithin $$f = \frac{\pi u}{l_\tau^2}(qu - qu_1) \ldots (2).$$

Bevor wir (1) und (2) gleichsetzen, bemerken wir, dass

$$\cos\beta = \frac{qu}{pq} = \frac{qu}{a} \text{ und } \cos\beta' = \frac{qu_1}{a},$$

wo nur im Nenner eine unendlich kleine Vernachlässigung geschieht. Also erhalten wir durch die Gleichsetzung der zwei für eine und dieselbe Kraft gefundenen Ausdrücke die Gleichung

$$\frac{a^2}{\tau^2} = v^2 = \frac{Sl}{m}$$

oder $$v = \sqrt{\frac{Sl}{m}} \ldots (3).$$

Drückt man die Spannung S durch das Gewicht einer Masse M aus, so ist $S = Mg$, und

$$v = \sqrt{\frac{Mgl}{m}}.$$

Da sich die Massen verhalten wie die absoluten Gewichte, so ist auch

$$v = \sqrt{\frac{Pgl}{p}} \ldots (4).$$

Dieser Ausdruck ist auch auf gespannte Membranen anwendbar.

b) Wir haben eine gespannte Saite bereits unter den Schwingungen des Schallerregers §. 1, Fig. 225, betrachtet und erkannt, dass sie stehende Schwingungen macht. Die Figur näher ansehend, bemerken wir, dass wenn die Saite von der ganzen Länge l schwingt, $l =$ ist $\frac{\lambda}{2}$, daher wegen $\lambda = vT$ auch $T = \frac{2l}{v}$. Setzt man für v den Werth (4), so ist

$$T = 2l\sqrt{\frac{p}{Pgl}} = 2\sqrt{\frac{pl}{Pg}}.$$

Das Gewicht p einer cylindrischen Saite ist aber, wenn man mit s ihr specifisches Gewicht, mit d den Durchmesser bezeichnet,

$$p = \frac{\pi d^2}{4} l \,.\, s,$$

folglich $$T = dl \,.\, \sqrt{\frac{\pi s}{Pg}}.$$

Ist n die Anzahl der in einer Secunde vollbrachten Schwingungen, so ist $nT = 1$, mithin

$$n = \frac{1}{dl}\sqrt{\frac{Pg}{\pi \,.\, s}} \ldots (5),$$

d. h. die Anzahl der in einer Secunde von der Saite gemachten Schwingungen ist der Quadratwurzel aus dem spannenden Gewichte direct, und der Länge, Dicke und der Quadratwurzel aus ihrem specifischen Gewichte verkehrt proportional. — Diese Anzahl n der in einer Secunde gemachten Schwingungen

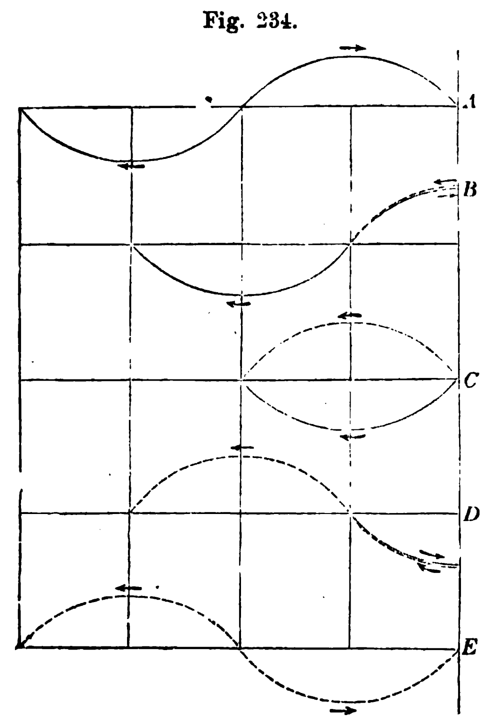
drückt aber die absolute Tonhöhe aus, wie wir dies im nächsten Paragraphen sehen werden.

§. 7. **Reflexion der Wellen.** Unter Reflexion der Wellenbewegung versteht man die Rückkehr derselben an der Trennungsfläche zweier Medien.

Die gegenseitige Wirkung der heterogonen Theilchen an der Trennungsfläche veranlasst eine Störung des Gleichgewichtes beider Medien, daher gehen von jedem getroffenen Punkte neue Wellen aus. Es bilden sich zwei Schallwellen, die eine schreitet in dem neuen Medium fort, die andere, die reflectirte genannt, kehrt in das ursprüngliche Medium zurück.

Zur Versinnlichung des Gesagten mögen die Fig. 234 und 235 dienen. *AE* (Fig. 234) ist eine feste Wand, an die eine Welle anstosst; die reflectirte Welle ist punktirt. — *Tt* (Figur 235) ist die Grenze zweier verschieden dichter Luftarten und zwar ist das neue Medium minder dicht. Die punktirten Wellen beider Medien entstehen an der Trennungsfläche; die Pfeile zeigen die Richtungen der Bewegung an.

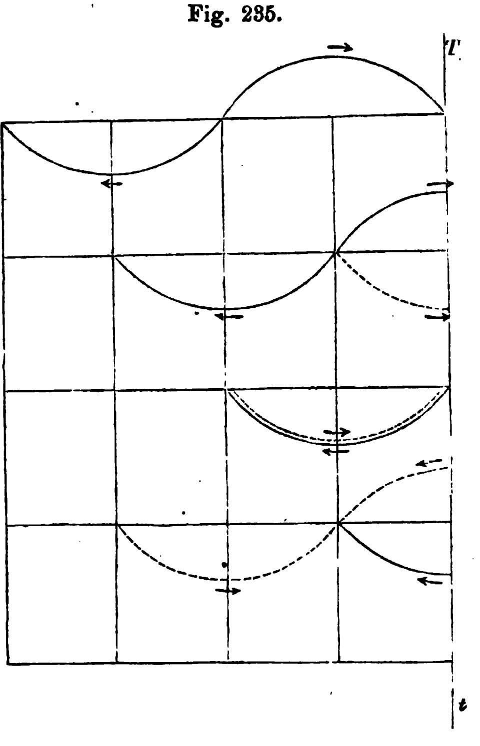
Fig. 234.



In dem Falle (Fig. 234) geht der verdichtete Theil bei der Reflexion in eine Verdichtung, in dem Falle (Fig. 235) aber in eine Verdünnung über, und man sagt im letztern Falle, die Welle habe sich umgekehrt. Darnach soll eine Zeichnung für den zweiten Fall entworfen werden, wenn die Welle mit dem Wellenthale vorangeht.

Das Gesetz für die Reflexion der Wellen wird man finden, wenn man berücksichtigt, dass jeder von der Welle berührte Punkt der Trennungsfläche *NM* als Mittelpunkt neuer

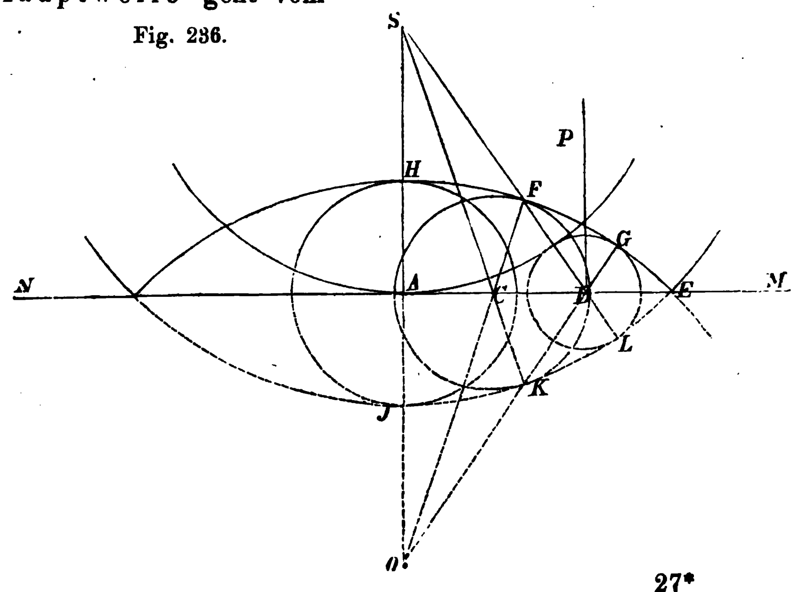
Fig. 235.



Wellen zu betrachten ist. S sei (Fig. 236) der Mittelpunkt einer kugelförmigen Schallwelle, welche die Trennungsfläche MN zweier Medien in A zuerst, dann in C, D etc. trifft. Jeder Punkt der Trennungsfläche wird also von einer Wellenbewegung getroffen, also werden A, C, D, . . . Mittelpunkte neuer Wellen sein (Elementarwellen).

Denken wir, um den Vorgang der Reflexion im alten Medium zu erfahren, die Wellen gingen im neuen Medium wie im alten fort, und wenden die Folgerung auf das alte Medium zurück. Gleichzeitig mit der Hauptwelle geht vom

Fig. 236.



Punkte *A* aus eine Elementarwelle, daher kommen sie auch gleichzeitig in *J* an. Beschreibt man mit *AJ* die Elementarwelle, so berührt sie die Hauptwelle im Punkte *J*. Solche Elementarwellen gehen aber von allen Punkten der Trennungsfläche aus, z. B. von *D* und *C*, und berühren eben deshalb die Hauptwelle in *K* und *L*, und so alle andern. Wegen der continuirlichen Folge der Mittelpunkte der Elementarwellen bilden auch die Berührungspunkte derselben mit der Hauptwelle eine continuirliche Folge, daher ist die Oberfläche sämmtlicher Elementarwellen einerlei mit der Oberfläche der Hauptwelle. — Uebertragen wir diese Folgerung auf das alte Medium zurück, indem wir den unter *MN* liegenden Theil um *MN*, als Linie gedacht, um 180° drehen, wodurch *O* nach *S* und die Wellenoberfläche in das alte Medium als reflectirte Welle *NHE* zu liegen kommt. Wir ersehen daraus, dass die reflectirte Welle als eine die Oberfläche sämmtlicher Elementarwellen berührende Kugelfläche zu betrachten ist und dass 1. die auf eine Trennungsfläche auffallende Welle so reflectirt wird, als käme sie von einem Punkte *O*, der ebenso weit hinter der Trennungsfläche liegt, als der Ort der Wellenerregung von ihr entfernt ist.

Zieht man von *O* aus durch *C* oder *D* je eine Gerade, so zeigt diese die Richtung der reflectirten Welle oder des Strahles an, denn *OF* oder *OG* steht senkrecht auf der Wellenoberfläche. Der Strahl *SD* wird also in der Richtung *DG* reflectirt. Die in dem vom Strahle getroffenen Punkte errichtete Senkrechte *PD* heisst das Einfallsloth, $\sphericalangle$ *SDP* der Einfalls-, *PDG* der Reflexionswinkel. Aus der Zeichnung erkennt man leicht, dass $\sphericalangle SDA = \sphericalangle MDG$ ist, daraus folgt, dass 2. der Einfallswinkel des Strahles ist gleich dem Reflexionswinkel. — Aus der um 180° vorgenommenen Umkehrung begreift man, dass 3. der reflectirte Strahl *DG* in derselben Ebene liegt als der einfallende Strahl *SD*.

Unter 1., 2. und 3. sind die Reflexionsgesetze ausgesprochen.

§. 8. **Zusammensetzung der Wellen. Interferenz.** Wenn zwei gleichartige, transversale oder longitudinale Wellen, die von beliebigen Punkten ausgehen, an einer Stelle des Mediums zu-

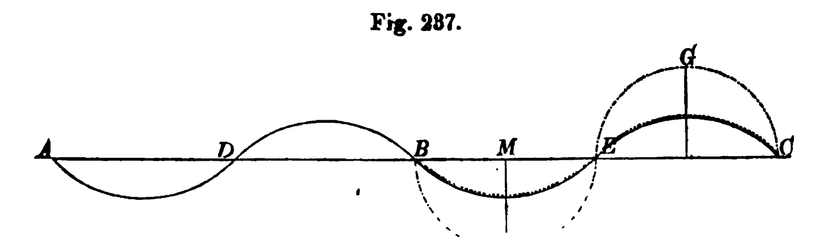
sammentreffen, so sucht jede das Theilchen an dieser Stelle in ihrem Sinne zu bewegen. Ein von zwei Wellen getroffenes Theilchen wird also gleichzeitig von zwei Kräften zur Bewegung angeregt, daher bewegt es sich nach der Resultirenden dieser Kräfte.

Für die Zusammensetzung zweier gleichartiger Wellen, die sich an einem Punkte begegnen, gelten also dieselben Sätze, wie für die Zusammensetzung der Kräfte und der Bewegungen überhaupt. Die Wellen können das Theilchen entweder längs derselben geraden Linie oder aber unter einem Winkel zur Schwingung anregen.

A. Zusammensetzung gleichartiger Wellen von gleicher Wellenlänge und von paralleler Richtung.

Angenommen zwei gleiche Wellenzüge, die in paralleler Richtung *AC* (Fig. 237) fortschreiten, treffen vom Punkte *B* an so zusammen, dass Wellenthal mit Wellenthal und Wellenberg mit Wellenberg zusammenfällt, wie dies in der Zeichnung durch die dicht anschliessenden Wellenlinien *BEC* angedeutet werden soll.

Fig. 237.



Ein beliebiger Punkt *M* erhält hier in Folge der Kräfte beider Wellen die Summe der Geschwindigkeiten und macht die Summe der Wege = *MF*, d. h. die beiden Wellenzüge fallen zusammen (Coincidenz) und erzeugen eine verstärkte Welle *BFEGC*.

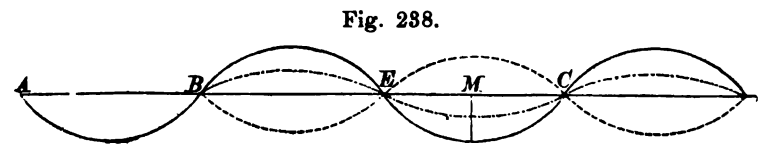
Sind die Wellen von den Punkten *A* und *B* ausgegangen, so nennt man *AB* den Gangunterschied; dieser beträgt in der Figur eine ganze Wellenlänge. Das Zusammenfallen der Wellen ändert sich aber nicht, wenn man den Punkt *B* nach *C* vorschiebt oder nach *A* zurück rückt, d. h. es findet dieselbe Erschei-

nung statt, wenn der Gangunterschied entweder Null oder irgend eine Anzahl von ganzen Wellenlängen beträgt. Daher das Gesetz:

Zwei gleichartige, transversale oder longitudinale Wellenzüge verstärken sich beim Zusammenfallen, wenn der Gangunterschied derselben eine ganze Anzahl von Wellenlängen, also eine gerade Anzahl von halben Wellen beträgt.

Beträgt aber der Gangunterschied eine halbe Wellenlänge, wie in Figur 238, so fallen die Wellenberge mit den Wellenthä-

Fig. 238.



lern zusammen, d. h. ein Theilchen M wird gleichzeitig von zwei gerade entgegengesetzten Kräften angeregt und bewegt sich mit dem Unterschiede dieser Kräfte und die Wellen schwächen sich, wie die doppelt punktirte Linie andeuten soll. Sind die Kräfte beider Wellen gleich, so ist die Resultirende Null und die Wellenzüge vernichten sich ganz. Diesen Fall nennt man insbesondere die Interferenz. Dieselbe Erscheinung findet statt, wenn der Punkt B nach C verlegt wird, wo der Gangunterschied $\frac{3}{2}$ Wellenlängen beträgt. Daraus folgt das Gesetz:

Zwei gleichartige Wellenzüge schwächen sich bei der Begegnung, wenn der Gangunterschied eine halbe oder überhaupt eine ungerade Anzahl von halben Wellenlängen beträgt.

Weil die Welle während der Dauer einer Schwingung des Theilchens um ihre eigene Länge fortschreitet, so kann man in diesen Gesetzen das Wort: Wellenlänge auch durch: Schwingungsdauer ersetzen; dann müsste man aber anstatt des Gang- oder Wegunterschiedes den Zeitunterschied oder die Phasenzeit einführen.

Für diese Zusammensetzung der Luftwellen geben uns zwei schwingende Stimmgabeln ein Beispiel. Denken wir den uns schon bekannten Wellenzug von der Zinke der ersten Stimmgabel auslaufend und bringen eine zweite Stimmgabel (Fig. 239) von glei-

cher Schwingungsdauer oder Wellenlänge, eine ganze Wellenlänge weit von der ersten, so summiren sich ihre Wellenzüge. Stellt man aber die zweite Stimmgabel (Fig. 239) in die Entfer-

Fig. 239.

nung einer halben Wellenlänge, so schwächen sich die Wellenzüge oder heben sich ganz auf, so dass die Luftschichten sich wieder im natürlichen Zustande befinden, wie dies in der Zeichnung angedeutet ist.

Die Erscheinungen der Zusammensetzung der Wellen nennt man im Allgemeinen Interferenz; doch pflegt man auch den Fall, wo sich die Wellenzüge verstärken, Coincidenz zu nennen und versteht dann unter Interferenz insbesondere den Fall der Schwächung und Aufhebung der Wellen.

B. Zusammensetzung gleichartiger Wellen von ungleicher Wellenlänge und von paralleler Richtung.

Auch hier gilt das Gesetz der Zusammensetzung der Kräfte, aber die resultirende Erscheinung oder der aus beiden zusammengesetzte Wellenzug ist complicirter. Um sich ein einfaches Bild von dieser Zusammensetzung zu verschaffen, nehmen wir zwei Luftwellen (Fig. 240), von denen die zweite um die Hälfte kürzer ist. Durch Uebereinanderlagerung dieser zwei einfachen Wellen können je nach dem Zusammentreffen der Theile verschiedene zusammengesetzte Wellenzüge entstehen.

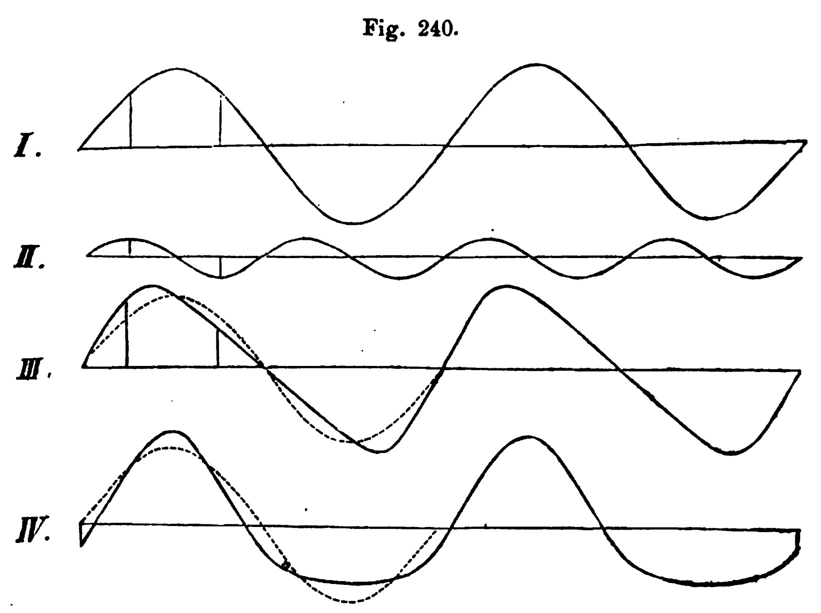
1. Fallen beide Wellenzüge so zusammen, wie wenn man ihre Zeichnungen von *I* und *II* an über einander legt, so ensteht die zusammengesetzte Welle *III*.

2. Wird aber der Wellenzug *II* um $^1/_4$ Wellenlänge verschoben und fällt dann auf den Wellenzug *I*, so entsteht eine

andere zusammengesetzte Wellenform *IV*. — So können Wellen der mannigfaltigsten Formen aus einfachen Wellen hervorgehen.

Verstärkung und Schwächung bei kleinerem Unterschied in der Wellenlänge. Um zu erfahren, wann

Fig. 240.



bei ungleichen Wellenzügen eine Verstärkung oder Schwächung eintritt, nennen wir c den Weg der Wellenzüge in einer Secunde, λ_1 die Wellenlänge des ersten, λ_2 die des zweiten, n_1 die Anzahl Wellen des ersten, n_2 die des zweiten, so haben wir

$$c = n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2.$$

Ist $n_1 - n_2 = 1$ so heisst das: in einer Secunde zieht vom Wellenzuge λ_1 eine ganze Welle mehr über ein Theilchen M hin als vom Wellenzuge λ_2. Angenommen es treffen in diesem Momente in M die Berge beider Wellenzüge zusammen, so trennen sie sich gleich darauf und treffen am Ende einer Secunde wieder bei M zusammen und v e r s t ä r k e n sich. Im Verlaufe einer $^1/_2$ Secunde wird vom Zuge λ_1 erst eine h a l b e Wellenlänge mehr als vom Zuge λ_2 über M gezogen sein, daher verschieben sich die Wellenzüge in $^1/_2$ Secunde um $^1/_2$ Wellenlänge; jetzt fallen Berge mit Thälern zusammen und es entsteht eine Schwächung. — Von

Secunde zu Secunde folgt eine **Verstärkung** des Wellenzuges, in der Mitte dieser Zeit tritt eine **Schwächung** ein.

Ist im Allgemeinen $n_1 - n_2 = z$, so gehen vom Zuge λ_1 per Secunde z Wellen mehr über M hinweg als vom Zuge λ_2, d. h. M erfährt per Secunde z **mal eine Verstärkung** und in der Mitte zwischen zwei Verstärkungen immer eine **Schwächung** der Schwingung.

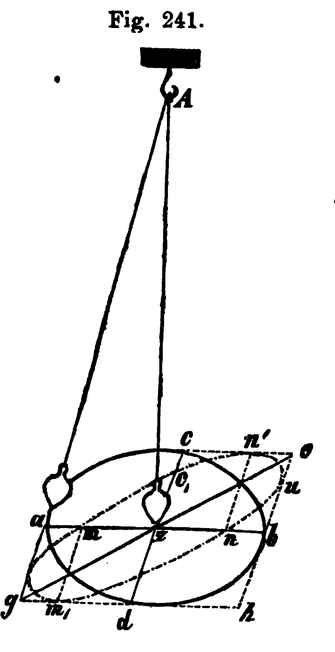
C. Zusammensetzung rechtwinkliger Schwingungen. Centrifugalpendel.

Schwingungen, welche ein Theilchen unter irgend einem Winkel anregen, lassen sich immer auf rechtwinklige Schwingungen zurückführen.

Wird ein einfaches Pendel (Fig. 241) aus seiner Ruhelage Az bis a verschoben und dann losgelassen, so wird es in der verticalen Ebene aAz schwingend auf dem horizontalen Boden eine gerade Linie ab beschreiben.

Verschiebt man es senkrecht gegen ab aus der Ruhelage nach d, so dass die Amplitude $dz = az$ ist, so wird es die Gerade $dc = ab$ beschreiben. Dieselbe Bewegung kann man ihm durch einen Stoss in der Ruhelage Az ertheilen.

Fig. 241.



Macht das Pendel die Schwingung ab und ertheilt man ihm beim Durchgange durch seine **Ruhelage** einen Stoss, der für sich die Schwingung cd erzeugt, so wirken im Punkte z zwei gleiche rechtwinklige Componenten der Bewegung $bz = cz$, das Pendel erhält die resultirende Bewegung ze und schwingt in der **geraden** Richtung eg.

Ertheilt man dem schwingenden Pendel am **Endpunkte** b seiner Schwingung durch einen senkrecht gegen ab geführten Stoss eine rechtwinklige Schwingung he von gleicher Grösse, so kehrt es

vermöge der ersten Schwingung von b zwar zurück, wird aber von be senkrecht gegen ab bewegt und beschreibt einen Kreis $bcad$.

Wäre die zweite rechtwinklige Schwingung eh kleiner als ab, so würde das Pendel eine kleinere Amplitude $c_1 z < bz$ in der senkrechten Richtung erreichen, und würde anstatt eines Kreises eine Ellipse beschreiben. Seine Bahn wird aber auch dann eine Ellipse, wenn es beim Durchgange durch irgend einen zwischen z und b liegenden Punkt n zu einer gleich grossen rechtwinkligen Schwingung angeregt wird, denn dann erreicht es die Linie eh in u und kehrt um, während es in Folge der zweiten Schwingung noch bis n' hinaus schwingt.

Im Allgemeinen wird das Pendel also am leichtesten in eine elliptische Schwingung versetzt, denn eine gerade Linie beschreibt es nur in jenem speciellen Falle, wenn es in der Ruhelage zu zwei rechtwinkligen Schwingungen von gleicher Dauer, und einen Kreis nur dann, wenn es an seinem Wendepunkte zu einer rechtwinkligen Schwingung von gleicher Grösse und gleicher Schwingungsdauer angeregt wird.

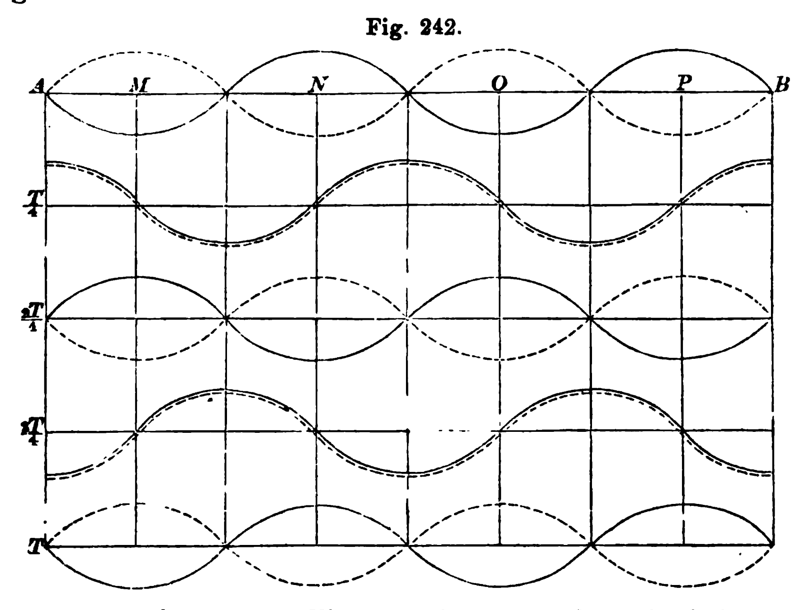
§. 9. **Stehende Schwingung, erzeugt durch Interferenz zweier gleicher, aber in entgegengesetzten Richtungen fortschreitenden Wellenzüge.**

a) Stehende Transversal-Schwingungen der Saiten. Nehmen wir zuerst den Fall, wo die Theilchen wie bei einer Saite transversal schwingen. Wir beginnen die Untersuchung in demselben Augenblicke, wo die beiden von A und B ausgegangenen Wellenzüge die Lage AB (Fig. 242) eingenommen haben. Es wird jedes Theilchen nach zwei entgegengesetzten Richtungen angeregt, und zwar mit gleicher Geschwindigkeit, daher bleibt in diesem Momente Alles in Ruhe. — Untersuchen wir den Zustand nach $\frac{T}{4}$, indem wir den punktirten Wellenzug um $\frac{\lambda}{4}$ von B gegen A, und den andern um ebenso viel in der entgegengesetzten Richtung fortschreiten lassen.

Aus der Zeichnung für $\frac{T}{4}$ ersieht man, dass sich sowohl die Elongation als die Geschwindigkeit verdoppelt.

Den Zustand nach Verlauf von $\frac{T}{2}$ erhalten wir, wenn die Wellenzüge in dem angegebenen Sinne noch um $\frac{\lambda}{4}$ fortschreiten. Die mit $\frac{2T}{4}$ hervorgehobene Zeichnung macht ersichtlich, dass sie nur die gegenseitige Lage von AB vertauscht haben; also sind die Theilchen wieder sämmtlich in der Ruhelage. — Ebenso ist der Zustand für $\frac{3T}{4}$ erhalten worden. Man sieht, die Theilchen haben dieselben Schwingungsphasen wie in $\frac{T}{4}$, aber im entgegengesetzten Sinne.

Fig. 242.



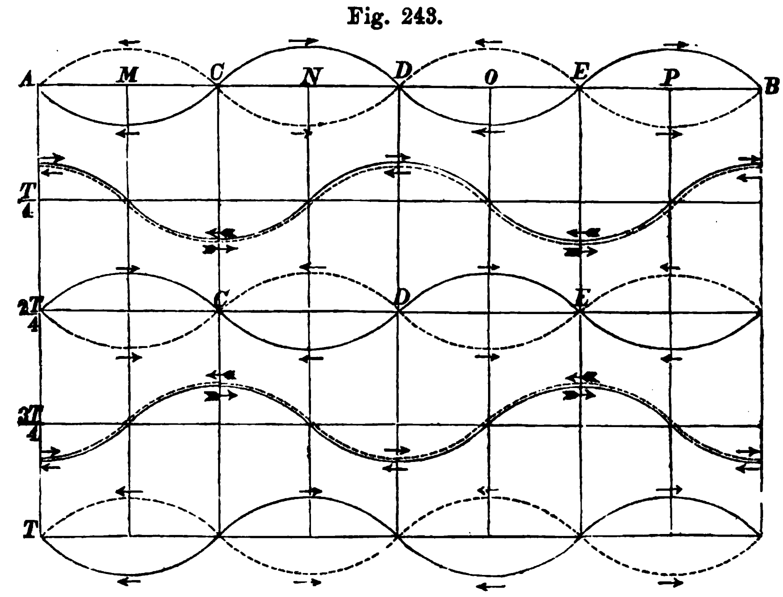
Betrachtet man endlich den Zustand nach Verlauf T, so erscheint er als der ursprüngliche in AB, und von nun beginnt dieselbe Reihe von Veränderungen.

Die Theilchen M, N, O, P bleiben fortwährend in der Ruhe, man nennt sie Schwingungsknoten. Die Schwingungen zu beiden Seiten des Schwingungsknotens gehen in entgegengesetzter Richtung vor sich. Die zwischen ihnen liegenden Theilchen aber erheben sich gleichzeitig über AB, kommen gleichzeitig in die

Ruhelage und erreichen wieder gleichzeitig unter AB die grösste Elongation, d. h. sie machen stehende transversale Schwingungen.

b) Stehende Longitudinal-Schwingungen. Schwingen die Theilchen longitudinal wie die Luftheilchen, wo dann in einem Theile der Welle Verdichtung, in dem andern Verdünnung herrscht, so wird der Erfolg der Interferenz auf ähnliche Weise ermittelt. Der punktirte Wellenzug (Fig. 243) geht wieder von B aus gegen A, der andere in entgegengesetzter Richtung. Die

Fig. 243.



Pfeile zeigen die Bewegungsrichtung der Theilchen an, und gehen in der Verdünnung denen in der Verdichtung entgegengesetzt, denn es entspricht letztere dem Vorgehen, erstere dem Zurückweichen des Erregers. — In AB haben alle Theilchen, vorausgesetzt, dass beide Wellenzüge einander gleich sind, eine doppelte Elongation und Geschwindigkeit, ausgenommen C, D, E, A und B, welche in Ruhe sind. Die grösste Geschwindigkeit herrscht in M, N, O, P. Ueberall ist die Verdichtung durch eine gleich grosse Verdünnung ausgeglichen.

Für $\frac{T}{4}$ findet man überall Ruhe, denn die gleichen und ent-

gegengesetzten Geschwindigkeiten heben sich auf; aber doppelte Verdichtung und Verdünnung, nur in *M*, *N*, *O*, *P* natürliche Dichte.

Für $\frac{2T}{4}$ erscheint die gegenseitige Lage der Wellenzüge *AB* vertauscht, es ist in *C*; *D*, *E* auch Ruhe, nur sind die Richtungen der Bewegung von *M*, *N*, *O* gerade entgegengesetzt denen in *AB*.

Für $\frac{3T}{4}$ finden wir eine Umkehrung der Wellenzüge von $\frac{T}{4}$, aber wo in $\frac{T}{4}$ die grösste Verdichtung war, ist hier die grösste Verdünnung.

Und nach Verlauf der Schwingungsdauer *T* tritt wieder der Zustand *AB* ein. In Folge der Interferenz bleiben also die Punkte *A*, *C*, *D*, *E*, *B* fortwährend in Ruhe, sie sind die Schwingungsknoten. Die Theilchen zwischen je zwei Schwingungsknoten befinden sich in stehenden longitudinalen Schwingungen. Die Bewegung der Theilchen an den beiden Seiten eines Schwigungsknotens geht in entgegengesetzterRichtung vor sich, wechselt aber von $\frac{T}{2}$ zu $\frac{T}{2}$ ihre Richtung, daher wechselt auch in den Schwingungsknoten die grösste Verdichtung mit der grössten Verdünnung. In *M*, *N*, *O*, *P* herrscht immerwährend die natürliche Dichte, aber die Schwingungsintensität ist hier am grössten.

Wird an einem Ende der Saite ein aliquoter Theil derselben in transversale Schwingungen versetzt, so geht von da ein Wellenzug aus, wird am andern Ende reflectirt, begegnet dem directen und bringt eine stehende Schwingung hervor, bei welcher sich die Saite in Theile abtheilt, deren jeder dem aliquoten Theile gleich ist und die durch Schwingungsknoten von einander getrennt sind. Diese Schwingungsknoten kann man mittelst sogenannter Papier-Reiterchen nachweisen, oder an einem langen mürben Stricke ersichtlich machen. Wird die Luft in einer Pfeife in Schwingungen versetzt, so werden die Schwingungen am Ende reflectirt und bilden mit dem directen Wellenzug stehende Schwingungen.

B. Akustik.

§. 10. **Die Lehre vom Schalle, Akustik genannt,** hat die Aufgabe, die Gesetze der von dem Gehörorgane wahrgenommenen

Erscheinungen der Körperwelt aufzufinden. Unter Schall versteht man jede durch das Gehörorgan gemachte Wahrnehmung.

Ursache und Bedingungen des Schalles. Die dem Gehörorgane als Schall wahrnehmbaren Impulse gehen immer von einem elastischen Körper aus, dessen Theilchen in einer schwingenden Bewegung begriffen sind. Der Körper, der den Schall veranlasst, heisst Schallerreger. Damit aber die Impulse vom Schallerreger zum Gehörorgane gelangen, muss dazwischen eine ununterbrochene Folge von elastischen Stoffen, Medien genannt, vorhanden sein, durch die sich die Schwingungen fortpflanzen. — Schallerreger, Schallmedium und ein gesundes Gehörorgan sind die unerlässlichen Bedingungen der Wahrnehmung des Schalles.

Ist die materielle Verbindung des Schallerregers mit dem Gehörorgane unterbrochen, so hört die Wahrnehmung auf, wie man sich davon überzeugen kann, wenn man ein Schlagwerk auf unelastischer Unterlage unter den Recipienten einer Luftpumpe stellt und die Luft sehr verdünnt. Mit der Verdünnung nimmt die Stärke des Schalles ab und verliert sich bei 300maliger Verdünnung fast ganz. Anstatt der Luft, die gewöhnlich als Schallmittel dient, können aber auch andere Medien auftreten, so z. B. hört man den Gang einer am Ende eines langen Balkens liegenden Uhr, wenn man das Ohr an das andere Ende anlegt.

§. 11. **Arten des Schalles. Tönende Körper. Grenzen des Gehörs.** a) Nach Verschiedenheit der schwingenden Bewegung des schallenden Körpers entstehen verschiedene Arten des Schalles. Tritt nur eine momentane Erschütterung des Schallerregers auf, so hören wir einen Knall, wie z. B. bei der Explosion einer Knallgasblase. Machen hingegen die Theilchen des Schallerregers eine ganze Reihe hinreichend rascher und starker Bewegungen, so pflanzt sich auch eine Reihe von Impulsen durch das Medium auf unser Gehörorgan fort. Den empfangenen Eindruck nennen wir einen Klang, wenn die Bewegungen des Schallerregers regelmässig sind, ein Geräusch, wenn sie unregelmässig erfolgen. Den vollkommen regelmässigen gleichartigen Klang nennt man gewöhnlich Ton.

Gelangen mehrere Töne gleichzeitig zu dem Gehörorgane, so erscheint der Eindruck dem Ohre entweder angenehm oder unangenehm, d. h. die Töne consoniren oder sie dissoniren. Eine aus verschiedenen Tönen bestehende Consonanz heisst ein

Accord. Eine angenehme Folge von Tönen nennt man Melodie, eine angenehme Folge von Accorden aber Harmonie.

An dem Tone pflegt man auch die Qualität und Quantität zu unterscheiden. Qualität oder Klangfarbe bezeichnet die Eigenthümlichkeit, durch welche sich der Ton eines Instrumentes von dem gleich hohen Tone eines andern Instrumentes unterscheidet; die Quantität umfasst die Tonunterschiede rücksichtlich der Höhe und Stärke.

b) Als tönende Körper eignen sich vorzugsweise gespannte Saiten und Membranen, elastische Stäbe und Platten, Flüssigkeiten und besonders atmosphärische Luft.

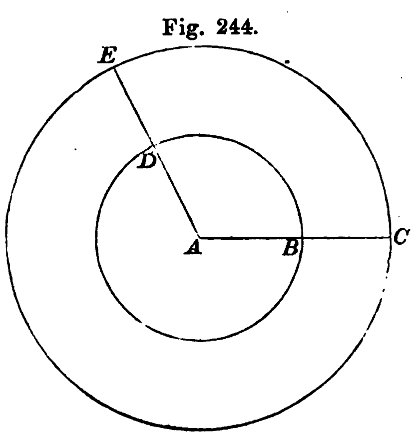
c) Grenzen des Gehörs. Erfolgen in der Secunde weniger als 16 Schwingungen, so nehmen wir nur einzelne getrennte Stösse wahr (Sirene). Uebersteigt die Zahl der Schwingung 32000 in der Secunde, so hört (nach Helmholtz) die Wahrnehmung des Tones vollständig auf.

Das beste Gehör erstreckt sich ungefähr über 11 Octaven; bei vielen Personen erscheint es aber auf nur 6 bis 8 Octaven beschränkt.

Die in der Musik verwendeten Töne werden durch Schwingungen erzeugt, die zwischen den Grenzen 40 und 4000 in der Secunde liegen; und umfassen 7 Octaven.

§. 12. **Fortpflanzung des Schalles, seine Stärke und Geschwindigkeit.** a) Ausbreitung des Schalles. Ist der Schallerreger A (Fig 244) umgeben von einem gleichförmigen elastischen Medium, so geht die Störung des Gleichgewichtes nach allen Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit vor sich; in B angekommen, muss sie eben alle auf der mit AB beschriebenen Kugeloberfläche befindlichen Theilchen angreifen, und so in C. Die äussere Begrenzung der bereits in Schwingung begriffenen Theile bildet also eine Kugeloberfläche, und man sagt

Fig. 244.



der Schall breitet sich in freier gleich dichter Luft in kugelförmigen Wellen aus.

Jede Schallwelle besteht aus einer Hohlkugel, deren Dicke die Wellenlänge ist. — Jede Fläche, welche die Theile von derselben Schwingungsphase mit einander verbindet, nennt man eine Wellenfläche.

Jede vom Schallerreger senkrecht zur Wellenfläche gezogene gerade Linie zeigt die Richtung des Fortschreitens dieser Wellenfläche an und heisst Schallstrahl.

Die in der Luft erzeugten Schallwellen schreiten unabhängig von dem Schallerreger fort, denn zufolge der Gesetze des Stosses überträgt jede Schichte des elastischen Mediums den als Verdünnung oder Verdichtung erhaltenen Impuls auf die benachbarte Schichte; sie müsste also zur Ruhe kommen, wenn ihr die voranstehende Schichte nicht alsogleich einen neuen Impuls mittheilte. Daraus wird ersichtlich, dass die Bildung neuer Wellen, also ein Fortdauern des Schalles, nur so lange möglich ist, als der Schallerreger schwingt und die Eindrücke der Verdichtung und Verdünnung der Luft mittheilt. Schwingt ein Körper einige Zeit fort, so bildet sich im Medium ein Wellenzug oder ein Wellensystem, d. i. eine Reihe von unmittelbar aneinander sich anschliessenden Wellen von einerlei Länge, wie z. B. solche beim Läuten einer Glocke die Luft durchziehen.

b) Die Stärke des Schalles hängt ab von der Stärke des auf das Gehörorgan gemachten Impulses. Der Impuls wächst mit der Masse und der Geschwindigkeit der anstossenden Theilchen, mithin ist der Impuls desto stärker, je grösser die Masse des Schallerregers und je grösser die lebendige Kraft seiner Schwingungen ist. — Bei zunehmender Entfernung vom Ursprunge der Wellenbewegung vertheilt sich die Kraft, welche sie erregt hat, auf immer grössern Kugeloberflächen, daher nimmt die Intensität ab. Da nnn die Kugeloberfläche und mit ihr die Masse mit der Entfernung vom Orte der Erregung im quadratischen Verhältnisse wächst, so entfällt zur Bewegung einer und derselben Masse eine in dem nämlichen Verhältnisse kleinere Kraft, mithin nimmt die Stärke des Schalles im quadratischen Verhältnisse mit der Entfernung vom Erregungsorte ab.

Dieses Gesetz gilt doch nur dann, wenn sich die Schwingungen nach allen Seiten verbreiten können, aber nicht mehr für die Fortpflanzung derselben in einer Röhre etc. — Was die Wahrnehmung des Schalles durch das Gehörorgan anbelangt, so hängt diese noch von der Empfindlichkeit des Gehörnerven ab.

c) Die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft hat man empirisch dadurch gefunden, dass man an zwei von einander entfernten Orten Kanonen abfeuerte und die Zeit t genau beobachtete, die der Schall braucht, um diesen Abstand oder Weg s zurückzulegen. Bei der gleichförmigen Bewegung ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit $c = \frac{s}{t}$. Man erhielt also die Schallgeschwindigkeit in der Luft, indem man den genau gemessenen Abstand der Kanonen durch die Anzahl Secunden dividirte, die der Schall brauchte, um diesen Weg zurückzulegen. — Aus Moll's Versuchen im Jahre 1823 ergab sich $c = 1022 \cdot 5$ Par. Fuss bei trockener nicht bewegter Luft und bei 0° Wärme. Spätere Versuche ergaben im Mittel 332 Meter oder 1050 Wiener Fuss. — Bei Temperaturerhöhung nimmt aber c für je 1° C. um 1·8 Fuss zu.

§. 13. **Reflexion des Schalles. Echo.** Eine reflectirte Schallwelle erzeugt in dem Gehörorgane denselben, nur etwas schwächern Eindruck, wie die directe. Auf der Reflexion des Schalles beruhen der Nachhall und das Echo.

Unser Gehörorgan vermag in einer Secunde nur neun einfache Laute nach einander zu unterscheiden, demnach muss wenigstens $\frac{1}{9}$ einer Secunde vergehen, bis der nächste Eindruck zum Ohre gelangt, wenn dieser für sich allein wahrgenommen werden soll. Während $\frac{1}{9}$ einer Secunde legt aber die Schallwelle den Weg $1050 : 9 = 116\frac{2}{3}$ Fuss zurück. Befindet sich nun eine reflectirende Wand in einer solchen Entfernung vom Schallerreger, dass die reflectirte Welle bis zum Ohre eines Beobachters einen $116\frac{2}{3}$ Fuss längern Weg zurückzulegen hat als die directe, so gelangt der reflectirte Schall $\frac{1}{9}$ einer Secunde später als der directe in's Ohr und wird für sich allein wahrgenommen. — Jeder nach seiner Reflexion vernommene Schall heisst ein Echo.

Kommt aber die reflectirte Schallwelle vor Ablauf von $\frac{1}{9}$ Secunde zum Ohre, so wird der Eindruck nicht unterschieden, bewirkt aber eine Verstärkung und Dehnung des directen Schalles, die man Nachhall nennt.

Kommt der reflectirte Schall schon nach $^1/_9$ einer Secunde zum Ohre, so hört man blos ein einsilbiges Echo, beträgt aber die Entfernung der reflectirenden Wand 2, 3, 4 ... *n*mal mehr, so hört man ein 2, 3, 4 ... *n*silbiges Echo. Reflectiren mehrere Gegenstände zugleich die Schallwellen und befinden sich in solchen Abständen vom Beobachter, dass dieser den reflectirten Schall einzeln vernehmen kann, so hört man ein mehrfaches Echo. — Bei Koblenz vor dem Lorleyfelsen am Rhein hört man ein einsilbiges Echo 17mal, auf der Villa Simonetta bei Mailand 40mal, bei Adersbach in Böhmen ein siebensilbiges dreifaches Echo.

Bei bogenförmigen Wänden werden in vielen Fällen die Schallwellen zu einem einzigen Punkte hin reflectirt und erzeugen dort einen verstärkten Impuls. Dahin gehören die kreisförmigen, elliptischen und parabolischen Flächen. Die in einem Brennpunkte einer Ellipse erregten Schallwellen treffen in dem andern Brennpunkte zusammen, weil die Radienvectoren mit der Tangente gleiche Winkel bilden. Die im Brennpunkte einer Parabel erregten Wellen gehen nach der Reflexion an derselben parallel mit der Axe der Parabel fort; und umgekehrt, wenn die Schallwellen parallel mit der Axe ankommen, so vereinigen sie sich nach der Reflexion in dem Brennpunkte. Das sogenannte Ohr des Dionysius in den Steinbrüchen von Syracus vereinigt die Schallwellen in einem Punkte, wie die Parabel.

Auf den Gesetzen der Reflexion beruht ferner die Construction des Communications-, des Sprach- und Hörrohres. Das Communicationsrohr ist eine Röhre von gleicher Weite. Die Schallwellen sind durch die Wand desselben verhindert sich auszubreiten und gehen mit fast unveränderter Stärke weiter. Biot hörte auf eine Länge von 3000 Fuss ein leises Gespräch durch die Röhre einer Wasserleitung. Man benutzt das Communicationsrohr häufig auf Schiffen, um aus der Cajüte des Capitäns von der Schildwache im Mastkorbe Erkundigungen einzuziehen.

Werden Schallwellen in einem Brennpunkte einer Parabelfläche erzeugt, so gehen sie beinahe wie im Communicationsrohre fort; ähnlich ist der Vorgang beim Sprachrohr, wo die Schallwellen in der Richtung der Axe fortschreiten. Wenn die Wände desselben konisch sind, so werden die Schallwellen auf eine ähnliche Art in der Richtung der Axe fortgeleitet. Eine starke Männerstimme kann sich dadurch bis auf 18,000 Fuss hörbar machen.

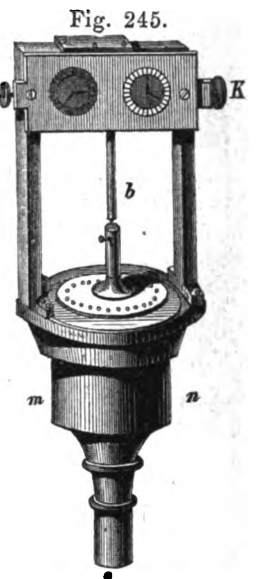
Das Hörrohr ist nur ein umgekehrtes Sprachrohr im kleinen Maassstabe. Der Schall wird dadurch verstärkt, dass eine grössere Menge Schallwellen durch dasselbe aufgefangen und in das Ohr hineingeleitet wird.

§. 14. Absolute und relative Tonhöhe.

1. Die Sirene von Cagnard de la Tour ist sehr geeignet zur Bestimmung der absoluten Tonhöhe. (Fig. 245) besteht aus einem hohlen Cylinder von 2 bis 3 Zoll Durchmesser, durch dessen

Boden eine Röhre geht, die ihm Luft aus einem Blasebalge zuführt. Oben ist der Cylinder durch eine ebene im Umfange mit concentrischen Löchern versehene Scheibe geschlossen. Ueber der Deckplatte befindet sich eine zweite genau angepasste, drehbare Scheibe mit ebenso viel schief gebohrten Löchern. Die Luft, welche aus den untern Löchern herausströmt, tritt in die obern ein, stosst aber hier an die geneigte Wandung an, erzeugt eine Drehung derselben und äussert zugleich Stösse gegen die äussere Luft, wodurch eine Verdichtung beim Stosse und eine Verdünnung bei dessen Unterbrechung bewirkt und Luftwellen erzeugt werden. Die so erzeugten Luftwellen bringen bei genug raschem Drehen Impulse auf das Gehörorgan hervor, welche als Ton wahrgenommen werden.

Fig. 245.



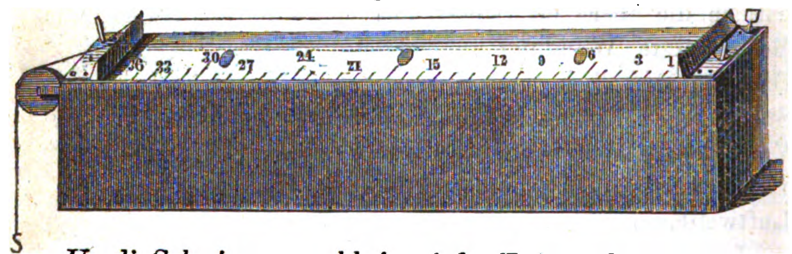
Man hört einen desto höhern Ton, je schneller die Platte rotirt. Die Anzahl der in einer Secunde entstandenen Luftwellen wird erhalten, indem man die Anzahl der Umdrehungen mit der Anzahl der Löcher multiplicirt. Um die Anzahl der Umdrehungen bestimmen zu können, greift die an dem obern Ende der Drehungsaxe angebrachte Schraube ohne Ende in die Zähne eines Rädchens ein und schiebt es bei jeder Umdrehung um einen Zahn weiter, und mit ihm einen Zeiger. Das Rädchen hat 100 Zähne, die Zeigerscala 100 Theile. Nach jedem Umlaufe des ersten Rädchens wird durch einen Hebel ein zweites Rädchen sammt einem Zeiger um einen Zahn weiter geschoben und gibt die Hunderte der Umdrehungen an.

Aus diesen Versuchen ist ersichtlich, dass die Tonhöhe mit der Anzahl der in einer Secunde gemachten Schwingungen im geraden Verhältnisse wächst. Daher ist die Anzahl der während einer Secunde gegen das Gehörorgan vollbrachten Impulse das natürliche Maass der Tonhöhe. Die Anzahl der Schwingungen, welche ein tönender Köper in einer Secunde macht, wird deshalb auch absolute Tonhöhe genannt.

2. Das Monochord (Fig. 246) besteht aus einem Kasten von dünnen Brettchen aus elastischem und trockenem Holze, über

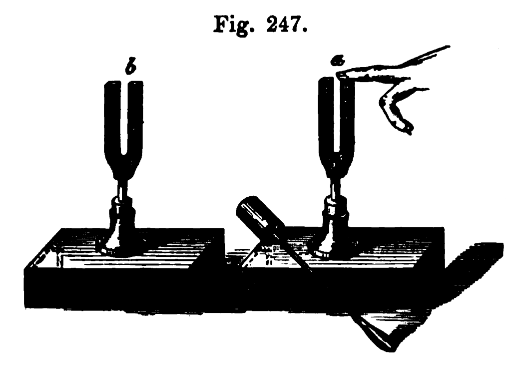
welches eine Saite durch ein an ihrem Ende hängendes Gewicht gespannt ist. Man kann mit einem Stege die Länge des schwingenden Theiles der Saite beliebig abändern; dazu ist eine Scala angebracht, an der die jedesmalige Länge des in Schwingung zu versetzenden Theiles leicht bestimmt wird.

Fig. 246.



Um die Schwingungszahl eines jeden Tones zu bestimmen, verbindet man mit dem Monochord das Marloye'sche Diaspason (Fig. 247), bestehend aus zwei hohlen, von dünnem Holze verfertigten Kästchen, auf denen zwei Stimmgabeln festgeschraubt sind, deren jede 264 Schwingungen in einer Secunde macht. Man stellt die auf einer Seite offenen Kästchen in einem Abstande von einem Zoll einander gegenüber. Beide ruhen auf Fliesspapier. — Versetzt man die eine Stimmgabel in Schwingungen, so tönt die andere mit, und der Ton hält mehrere Minuten an. Man kann also leicht die Saite von der Länge L eines Monochordes so stimmen, dass sie 264 Schwingungen in einer Secunde, d. i. den Stimmgabel-Ton gibt. — Hat man die Schwingungszahl n für irgend einen Ton zu finden, so stellt man die Saite am Monochord so ein, dass sie diesen Ton gibt; geschieht dies bei der Länge l, so ist nach dem Gesetze §. 6 die Schwingungszahl der Länge umgekehrt proportional, daher

Fig. 247.

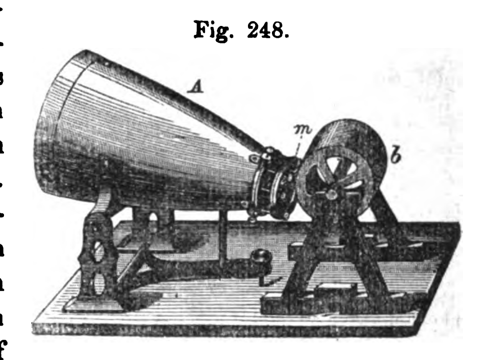


$$264 : n = l : L,$$

und die gesuchte Tonhöhe $n = 264 \cdot \frac{L}{l}$.

3. **Der Phonautograph.** Phonautograph heisst ein Instrument, welches die Schwingungen eines beliebigen Tones aufzeichnet. Wird vor der weiten Mündung des hohlen Paraboloides *A* (Fig. 248) ein Ton erregt, so theilt sich seine schwingende Bewegung der Luft im Paraboloide und einer elastischen **Membrane** mit, welche im Brennpunkte desselben die kleinere Oeffnung überspannt. Diese Membrane trägt ein kleines elastisches Federchen *m*; dieses macht die Tonschwingungen mit, und verzeichnet sie an dem rotirenden Cylinder *b*. Verschiebt sich der rotirende Cylinder langsam längs seiner Axe, so fallen die gezeichneten Curven in spiralförmigen Gängen auf seiner Fläche neben einander und man kann die Schwingungen während mehreren Umdrehungen verzeichnen.

Fig. 248.



Ist die Rotationsgeschwindigkeit des Cylinders bekannt, so kennt man die Länge der Spirale für eine Secunde; zählt man die Anzahl Wellen ab, die in einer Secunde verzeichnet wurden, so hat man die absolute Tonhöhe.

Zum Aufzeichnen zusammengesetzter Töne eignet sich das Instrument jedoch nur theilweise, denn die Membrane schwingt nur bei jenen Tönen mit, die ihrer Stimmung nahe liegen; daher ist eine Vorrichtung da, um der Membrane die entsprechende Spannung zu geben.

Die relative Tonhöhe. Vergleicht man zwei Töne rücksichtlich ihrer Höhe mit einander, so will man eigentlich wissen, wie vielmal mehr Schwingungen dem einen als dem andern zu Grunde liegen. Der Ton, mit dem man einen andern in Vergleich bringt, heisst **Grundton**, und die Zahl, welche angibt wie vielmal mehr oder weniger Schwingungen dem verglichenen Tone angehören, heisst **relative Tonhöhe** des letztern.

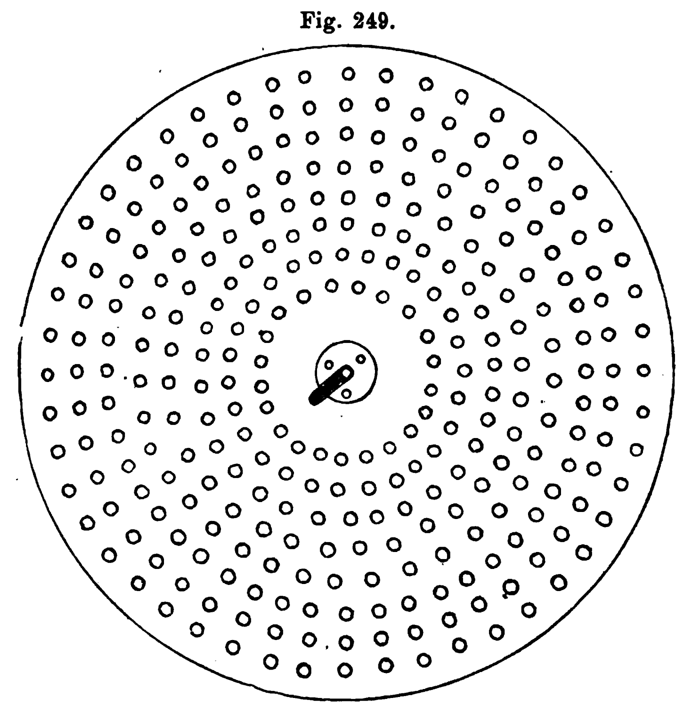
Beispiel. Erzeugt man mit der Sirene der Reihe nach drei Töne mit 64, 96 und 128 Schwingungen per Secunde, so sind diese Zahlen ihre absoluten

Tonhöhen. Dividirt man aber die Zahlen durch 64, indem man diesen ersten Ton als Grundton annimmt, so erhält man ihre relativen Tonhöhen

$$1, \frac{3}{2} \text{ und } 2.$$

§. 15. **Die diatonische Tonleiter oder Tonscala.** Zwischen einem Grundton und seiner Octav liegen viele einzelne Töne, von denen aber nur einige in ihrer Verbindung das Ohr angenehm berühren. Diese angenehme Tonfolge erhält man mittelst der Seebeck'schen Sirene (Fig. 249). Diese Scheibe hat

Fig. 249.



kreisförmig angeordnete Löcher und zwar ist die Anzahl derselben vom Mittelpunkte gegen die Peripherie der Reihe nach

24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48.

Bringt man die Sirenenscheibe in gleichförmige Drehung und leitet man durch eine konische Röhre einen gleichförmigen Luftstrom zuerst gegen die Oeffnungen des innersten Kreises und fährt dabei mit dem Luftstrome über die Kreise gegen die Peripherie, so erhält man die in der Musik unter den Namen:

Prim, Secund, Terz, Quart, Quint, Sext, Septim und Octav bekannten Töne. — Diese Tonreihe nennt man die diatonische Tonleiter oder die Tonscala.

Die Töne der Tonscala pflegt man der Reihe nach mit den Buchstaben zu bezeichnen:

$$\begin{array}{cccccccc} C, & D, & E, & F, & G, & A, & H, & c, \\ 66 & 74{\cdot}4, & 82{\cdot}4, & 88, & 99, & 110, & 123{\cdot}6, & 132, \end{array}$$

wobei für die grosse Octav die beigesetzten Schwingungszahlen gelten.

a) Relative Tonhöhen der Tonscala. Nimmt man die Prim zum Grundton = 1, indem man die obige Zahlenreihe durch 66 dividirt, so erhält man die relativen Töne

$$\begin{array}{cccccccc} C, & D, & E, & F, & G, & A, & H, & c \\ 1 & \frac{9}{8}, & \frac{5}{4}, & \frac{4}{3}, & \frac{3}{2}, & \frac{5}{3}, & \frac{15}{8}, & 2. \end{array}$$

b) Die Töne der Tonscala erhält man auch mit dem Monochord, wenn man nach dem Satze (§. 6), dass die Schwingungszahl oder die Tonhöhe der Länge der Seite umgekehrt proportional ist, der Reihe nach die Saitentheile von der Länge

$$l, \quad \frac{8}{9}l, \; \frac{4}{5}l, \; \frac{3}{4}l, \; \frac{2}{3}l, \; \frac{3}{5}l, \; \frac{8}{15}l, \; \frac{1}{2}l.$$

zum Tönen bringt.

c) Mit dem Tone c fängt diese Tonreihe, die man auch Töne einer Octave nennt, von Neuem an, wird aber mit kleinen Buchstaben bezeichnet; die Töne der darauf folgenden Octaven werden mit $\overline{c}, \overline{d} \ldots; \overline{\overline{c}}, \overline{\overline{d}}, \ldots$ etc. bezeichnet. Im Ganzen umfasst die Musik 9 Octaven, und es ist der tiefste Ton $\underline{\underline{C}} = 16{\cdot}5$ Schwingungen und der höchste $\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}} = 8448$ Schwingungen.

d) Dur- und Mollscala. Man kann in der Tonleiter anstatt der grossen Terz $^5/_4$ auch die kleine Terz $^6/_5$ einführen; dadurch entstehen zwei Scalen. Der Eindruck der Musik, welcher die grosse Terz zu Grunde liegt, ist aufmunternd, zur Heiterkeit und Thatkraft stimmend, jener der kleinen Terz stimmt wehmüthig, daher nennt man erstere Dur-, letztere Mollscala. — Die Ethnographen pflegen aus der Tonart der Volkslieder auf den Charakter des Volkes zu schliessen.

e) Consonanz und Dissonanz. Wenn zwei oder mehrere Töne sich zu einem Klange vereinigen, so bringen sie in unserem

Gehör entweder eine angenehme Empfindung, Consonanz, oder eine unangenehme Empfindung, Dissonanz, hervor. — Mehrere consonirende Töne nennt man einen Accord.

Solche Accorde geben: Prim und Octav (1:2), Prim und Quint (2:3), Prim und Quart (3 : 4) etc., der Dreiklang: Prim, grosse Terz und Quint (4:5:6) heisst Dur-Accord; hingegen Prim, kleine Terz und Quint (10:12:15) heisst Moll-Accord.

§. 16. **Tonintervalle und chromatische Tonleiter.** Das Verhältniss zweier Töne nennt man ein Tonintervall. Die Intervalle in der Scala sind:

$$D:C=\frac{9}{8},\ E:D=\frac{10}{8},\ F:E=\frac{16}{15},\ G:F=\frac{10}{9},$$

$$A:G=\frac{10}{9},\ H:A=\frac{9}{8},\ c:H=\frac{16}{15}.$$

Es kommen also dreierlei Intervalle vor: $\frac{9}{8}$, $\frac{10}{9}$, $\frac{16}{15}$.

Das erste Intervall heisst ein grosser ganzer Ton, das zweite ein kleiner ganzer Ton, das dritte ein grosser halber Ton.

Das menschliche Gehörorgan fordert nun, dass die von was immer für einem Tone, den man als Grundton annimmt, ausgehende Tonleiter stets diese Intervalle der diatonischen Tonleiter besitze; daher tritt die Nothwendigkeit ein, in die fünf Intervalle ganzer Töne noch fünf halbe Töne einzuschalten, wo dann vom Grundtone bis zur Octav zwölf Töne auf einander folgen, diese Folge nennt man die chromatische Tonleiter. Geht man nämlich von *D* als Grundton aus, so muss man *F* und *c* je um einen halben Ton erhöhen, wodurch man zwei neue Töne Fis und Cis bekommt etc. Diese fünf halben Töne der Octav sind: *Cis, Dis, Fis, Gis, B (Ais)*. Durch Einschaltung dieser halben Töne erhält man die sogenannte chromatische Tonleiter, nämlich:

C, Cis, D, Dis, E, F, Fis, G, Gis, A, Ais, H, c, oder
C, Des, D, Es, E, F, Ges, G, As, A, B(Hes), H, c.

Anstatt *E* pflegt man auch zu sagen *Fes,* sowie *Eis* anstatt *F, Ces* anstatt *H, His* anstatt *c.*

Akustische Temperatur. Weil es grosse und kleine Intervalle gibt und so die halben Ton-Intervalle in der chromatischen Tonleiter ungleich werden, so geschieht es, dass wenn die Töne bezüglich des Grundtones rein sind, sie bezüglich eines andern Tones unrein ausfallen. Wollte man ein Klavier stimmen und würde zu diesem Zwecke die Quinten in reine Stim-

mung bringen, so geräth man in eine Unreinheit in den Octaven. Denn die zu dem Grundtone $\underline{C}$, am Klaviere dem tiefsten, auf einander folgenden Quinten der chromatischen Tonleiter sind

$$\underline{G},\ D,\ A;\ e,\ h;\ \overline{fis};\ \overline{\overline{cis}};\ \overline{\overline{gis}};\ \overline{\overline{\overline{dis}}},\ \overline{\overline{\overline{ais}}};\ \overline{\overline{\overline{\overline{f}}}};\ \overline{\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}};$$

woraus man ersieht, dass die zwölfte Quint mit der siebenten Octav zusammenfällt. Ist $\underline{C} = 1$, so ist $\underline{G} = {}^3/_2$, und nach dem nothwendigen Verhältnisse der Tonleiter

$$\left.\begin{array}{l}\underline{G} : D = 1 : \frac{3}{2}\\ \frac{3}{2} : D = 1 : \frac{3}{2}\end{array}\right\} \text{also } D = \left(\frac{3}{2}\right)^2, \qquad \left.\begin{array}{l}D : A = 1 : \frac{3}{2}\\ \left(\frac{3}{2}\right)^2 : A = 1 : \frac{3}{2}\end{array}\right\} \text{also } A = \left(\frac{3}{2}\right)^3,$$

daher $\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}} = \left(\frac{3}{2}\right)^{12}$, und dieser numerische Werth sollte mit der siebenten Octav $= 2^7$ zusammenfallen, erscheint aber höher und zwar um das Intervall

$$\left(\frac{3}{2}\right)^{12} : 2^7 = 129{\cdot}98 : 128 \text{ nahe } = \frac{65}{64},$$

das **Pytagoräische Coma** genannt. Da nun das Gehörorgan in den Octaven keine Unreinheit verträgt, so pflegt man die Quinten gleichmässig niedriger zu stimmen. Dieses Verfahren nennt man **Temperiren**, und die dadurch erzielte Ausgleichung der Töne: **akustische Temperatur**. Die gleichmässige Vertheilung des Fehlers: **gleichschwebende Temperatur**, zum Unterschiede von der **ungleich schwebenden**, bei welcher der Fehler nur auf einige Quinten übertragen wird.

§. 17. **Gesetze des Tönens der Luft in den Pfeifen,** und zwar für den Fall, wenn ihre Länge die Dimension des Querschnittes bedeutend übertrifft.

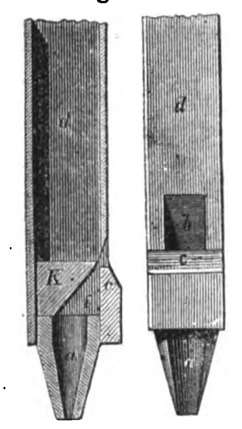
Es gibt Blasinstrumente, die mit einem **Mundstücke**, d. i. mit einem Ansatzrohre versehen sind, welches an einer Seite einen Ausschnitt hat, der durch ein elastisches Plättchen, **Zunge** genannt, verschlossen ist, z. B. Clarinetten, Fagote, Schnarrwerke der Orgeln. Solche Pfeifen nennt man **Zungenpfeifen**. — Andere Blasinstrumente, wie die **Labialpfeifen** der Orgeln, Flöten etc., haben keine Mundstücke.

Bei Zungenpfeifen wird der Ton von der Zunge und der Luftsäule **gemeinschaftlich** erzeugt; bei denen ohne Zunge tönt die eingeschlossene Luftsäule allein und die Tonhöhe ändert sich nicht, wenn das Material geändert wird, der Ton erscheint höchstens etwas modificirt.

Die Luft in einem Blasinstrumente tönt, sobald sie in eine stehende Schwingung versetzt wird. Durch Anblasen an einem Ende der Röhre wird eine rasche Folge von Verdichtungen und Verdünnungen hervorgebracht; dadurch entstehen in der eingeschlossenen Luftsäule Schwingungen, die am anderen offenen oder geschlossenen Ende reflectirt werden und so eine stehende longitudinale Schwingung veranlassen.

Die Schwingungsknoten in den tönenden Pfeifen zeigt man mittelst eines Rähmchens, welches mit Papier überzogen und Sand bestreut in einer gläsernen Pfeifenröhre auf und ab bewegt wird. An den Knotenstellen bleibt der Sand ruhig, an den Zwischenstellen schwingt das Papier mit und der Sand wird abgeworfen.

Fig. 250.



A. Blasinstrumente ohne Mundstücke. 1. Die gedeckte Labialpfeife (Fig. 250). Der Versuch über die Lage der Schwingungsknoten lehrt, dass am gedeckten Ende ein Knoten liegt, an der Pfeifenöffnung (Mund, Lippe) aber eine starke Schwingung vorhanden ist.

Da nach Paragraph 9, Fig. 243, in der Mitte zwischen zwei Schwingungsknoten die natürliche Dichte herrscht, so können in den gedeckten Pfeifen alle jene Schwingungsweisen auftreten und Töne erzeugen, bei denen der nächste Schwingungsknoten vom offenen Ende um $\frac{\lambda}{4}$ absteht. Bei schwachem Anblasen entsteht der Grundton der Pfeife und ein Schwingungsknoten am Boden. Durch stärkeres und stärkeres Anblasen bringt man ausser des Knotens am Boden noch andere Schwingungsknoten in der Luftsäule hervor.

Es sei l die Länge der Pfeife und es entstehe nur ein Schwingungsknoten am Boden; dieser aber steht um $\frac{\lambda}{4}$ von dem Orte der natürlichen Dichte, also von der Oeffnung ab, daher

$$l = \frac{\lambda_1}{4},$$

kommt noch ein Schwingungsknoten hinzu, so liegen zwischen dem Boden und der Oeffnung $\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{4}\right)$ Wellen, daher

$$l=\frac{3\lambda_2}{4},$$

kommt abermals ein Knoten hinzu, so ist $l=\frac{5\lambda_3}{4}$ etc., daher allgemein bei m Schwingungsknoten

$$l=(2m-1)\frac{\lambda_m}{4},$$

mithin ist $\lambda_1=3\lambda_2=5\lambda_3=7\lambda_4=\ldots=(2m-1)\,\lambda^m \ldots (1)$. Ist nun n die Anzahl der in einer Secunde gemachten Schwingungen und T die Schwingungsdauer, so ist

$$\lambda=cT \quad \text{und } nT=1, \text{ mithin} \quad n\lambda=c,$$

also auch $\quad n_1\lambda_1=n_2\lambda_2=n_3\lambda_3=n_4\lambda_4=\ldots n_m\lambda_m,$
und wegen (1)

$$\frac{n_2}{n_1}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=3,\ \frac{n_3}{n_1}=\frac{\lambda_1}{\lambda_3}=5,\ldots\frac{\lambda_1}{\lambda_m}=(2m-1).$$

Die gedeckte Pfeife gibt also in ihrer Tonfolge alle Töne (Obertöne), deren Höhen bezüglich des Grundtones durch die ungeraden Zahlen ausgedrückt werden.

2. Bei den offenen Pfeifen herrscht an den beiden offenen Enden die natürliche Dichte; daher ist bei einem Schwingungsknoten in der Mitte

$$l=\frac{\lambda_1}{2},$$

bei zwei Schwingungsknoten $l=\frac{2\lambda_2}{2}$,

bei drei Schwingungsknoten $l=\frac{3\lambda_3}{2}$ etc.,

daher bei m Schwingungsknoten

$$l=\frac{m\lambda^m}{2},$$

mithin ergibt sich, wie oben, hier:

$$\frac{n_2}{n_1}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}=2,\ \frac{n_3}{n_1}=\frac{\lambda_1}{\lambda_3}=3,\ldots\frac{n_m}{n_1}=\frac{\lambda_1}{\lambda_m}=m,$$

d. h. die Obertöne der offenen Pfeife bilden die natürliche Zahlenreihe.

a) Bilden sich in zwei Pfeifen von der Länge L und l in jeder gleichviel Schwingungsknoten, und sind N und n die Schwingungszahlen, so hat man

$$N\lambda = c \text{ und } n\lambda' = c,$$

mithin $$N:n = \lambda':\lambda.$$

Nun ist beim schwachen Anblasen bei gedecktem

$$L = \frac{\lambda}{4}, \quad \text{uud } l = \frac{\lambda'}{4},$$

und bei offenen Pfeifen $L = \frac{\lambda}{2}, \quad l = \frac{\lambda'}{2},$

also für beide $$N:n = l:L \ldots (2),$$

d. h. die Tonhöhen verhalten sich bei gleicher Knotenzahl zu einander umgekehrt wie die Pfeifenlängen.

b) Hat die gedeckte Pfeife die Länge L, die offene aber l, so ist bei gleicher Schwingungsart

$$L = \frac{\lambda}{4} \text{ und } l = \frac{\lambda'}{2}, \text{ ferner } N\lambda = c, \; n\lambda' = c,$$

daher $$N:n = \lambda':\lambda = 2l:4L,$$

ist nun $L = l$, so ist

$$N:n = 1:2 \text{ oder } n = 2N,$$

d. h. der Ton der offenen ist die Octav der gleich langen geschlossenen Pfeife.

c) Länge der Orgelpfeife für den tiefsten Ton C. Setzt man die Geschwindigkeit des Schalles $c = 1024$ Par. Fuss und berücksichtigt, dass für den tiefsten hörbaren Ton 16 Schwingungen erfordert werden, so ist wegen

$$n\lambda = c, \; \lambda = \frac{1024}{16} = 64 \text{ P. Fuss},$$

d. h. dem tiefsten Tone entspricht die Wellenlänge von 64 P. Fuss. Nun is bei einer gedeckten Pfeife $L = \frac{\lambda}{4}$, bei einer offenen aber $l = \frac{\lambda}{2}$, also wird die gedeckte Pfeife 16, die offene aber 32 P. Fuss haben müssen, um den Ton C zu geben.

d) Veränderungen in der Tonhöhe treten in den Pfeifen wegen

$$N = \frac{c}{4L} \text{ oder } n = \frac{c}{2l}$$

so lange nicht auf, so lange

$$c = \mu \sqrt{\frac{E}{D}}$$

constant bleibt. Nun wird aber bei der Erwärmung die Dichte D der Luftsäule geringer, während die absolute Expansivkraft E ungeändert bleibt, also wird c nach Magnus für je 1° C. um 1·8 Fuss grösser und der Ton der Pfeifen wird bei steigender Temperatur höher.

B. Blasinstrumente mit Mundstücken, Zungenpfeifen (Fig. 251). Eine Zungenpfeife besteht aus einem Mundstücke und einem mit diesem verbundenen Ansatzrohre. Das Mundstück ist eine Röhre, die an der Seite eine rechteckige Oeffnung hat, über welche ein elastischer Metallstreifen (die Zunge) derart befestigt ist, dass sie der durchgetriebene Luftstrom in Oscillationen versetzen kann.

Fig. 251.



Um den schwingenden Theil der Zunge und mit ihm die Tonhöhe zu reguliren, ist über der Zunge *f* eine verschiebbare Krücke *mn* angebracht. — Um angenehme Töne zu erhalten, muss die Zunge ohne die Ränder zu berühren sich frei hinein und heraus bewegen können; schlägt sie an die Ränder der Oeffnung an, so erzeugt sie einen schnarrenden Ton.

Die Hauptbedingung für die Erzeugung eines Tones mittelst der Zungenpfeife ist immer, dass das Ansatzrohr, die Spannung des Plättchens und die Stärke des Luftstromes in Harmonie stehen. Haben Zunge und Pfeife gleichen Rythmus, so ist der Ton rein und stark.

Ebenso wesentlich als die Transversal-Schwingungen der Zunge ist die im Ansatzrohre auftretende stehende Schwingung. Beide üben eine gegenseitige Wirkung aus. Ist die Wellenlänge des Tones des Mundstückes λ, und man gibt dem Ansatzrohre die Länge $\frac{\lambda}{2}$, so hört man die tiefere Octav des ersten Tones. Bei einer nur wenig grössern Länge des Ansatzrohres springt der Ton plötzlich auf den ersten Ton zurück. Bei der Länge $2 . \frac{\lambda}{2}$ steigt er um die Quart, bei $3 . \frac{\lambda}{2}$ um die kleine Terz des zweiten Tones etc.

Mit Ausnahme der Clarinette sind die Zungenpfeifen als *offene* anzusehen und haben die Obertöne der offenen Pfeifen.

a) *Das Stimmorgan des Menschen* (Fig. 252) ist das vollkommenste Zungeninstrument. Seine Hauptbestandtheile sind: die *Luftröhre*, der *Kehlkopf*, die *Stimmbänder* und der *Raum* von ihnen bis zur *Mund- und*

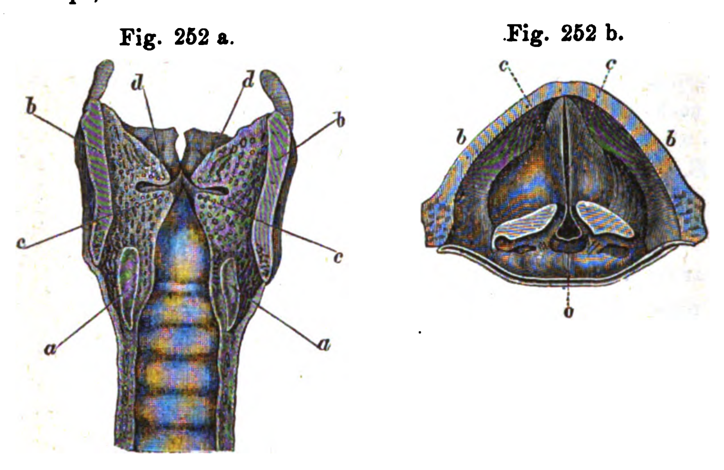


Fig. 252 a. Fig. 252 b.

Nasenöffnung, der die Pfeifenröhre vertritt. Die Stimmbänder c und d, welche diesen Raum von der Luftröhre trennen, werden durch zwei Häutchen am Kehlkopf gebildet, welche eine kleine Spalte, die *Stimmritze* cc bilden. Die Luft geht beim Athmen unhörbar durch die Stimmritze, tönt aber, wenn die Stimmbänder durch die Muskeln so gespannt werden, dass ihre Ränder durch den Luftstrom in schwingende Bewegung gerathen. Durch wechselnde Spannung der Stimmbänder wird ihr Schwingungstempo geändert und der Ton wechselt seine Höhe. — Die Weichheit und Reinheit der Stimme hängt davon ab, dass die Stimmritze während der Schwingung in regelmässigen Zwischenräumen vollkommen geschlossen wird. — Durch die Veränderung des inneren Mundraumes bis zum Kehlkopf hinab können wir den Grundton und die Obertöne unserer Stimme in verschiedenen Verhältnissen zusammenmischen; dieser Mischung sind die Vocalklänge zuzuschreiben.

b) Bei *kubischen Pfeifen*, bei denen der Durchmesser mehr als $1/6$ ihrer Länge beträgt, hängt die Höhe der Töne hauptsächlich von dem Volumen der Luft in denselben und von der Stärke des Anblasens ab. Dies ist z. B. bei dem kleinen Instrumente der Fall, womit die Jäger verschiedene Thierstimmen nachahmen.

c) *Schallgeschwindigkeit aus der Tonhöhe.* Da bei einer offenen Pfeife $c = 2nl$ ist, so braucht man nur ihre Tonhöhe oder Schwingungszahl n mittelst der Sirene zu bestimmen; multiplicirt man diese Zahl mit der doppelten Länge der Pfeife, so hat man die Schallgeschwindigkeit in jenem Medium, womit die Pfeife gefüllt ist.

d) Schallgeschwindigkeit in der Luft. Hält man eine tönende Stimmgabel, welche den Ton $\overline{c} = 256$ gibt, vor die Mundöffnung einer offenen Pfeife, so beträgt bei der Lufttemperatur von 0° C. die Länge der Pfeife, deren Luftsäule auf die Stimmgabel resonirt und denselben Ton gibt, nahe 2·05 Fuss; daher ist bei 0° C. die Schallgeschwindigkeit in der Luft

$$c = 2 \times 256 \times 2{\cdot}05' = 1049{\cdot}6 \text{ Fuss.}$$

Macht man denselben Versuch bei höherer Lufttemperatur, so überzeugt man sich, dass für je 1° C. die Geschwindigkeit fast um 1·8 Fuss wächst.

Diese Methode ist allgemein anwendbar; die Pfeife kann welche Flüssigkeit immer enthalten; anstatt der offenen Pfeife kann man einen an beiden Enden freien Stab nehmen, und wir finden durch die resonirende Länge die Schallgeschwindigkeit in dem betreffenden Stoffe.

§. 18. **Schwingungen tönender Stäbe.** *A.* Wird ein elastischer Stab (Fig. 253) an einem Ende in einen Schraubstock eingespannt und am freien Ende aus der Ruhelage gebracht, so schwingt er transversal und ohne Schwingungsknoten, und die Anzahl der in einer Secunde vollbrachten Schwingungen wächst im umgekehrten Verhältniss mit dem Quadrate der Länge des schwingenden Theiles; sie ist unabhängig von der Breite und steht im geraden Verhältniss mit der Dicke. — Berührt man den Stab an einer Stelle, deren Entfernung vom freien Ende $^1/_3$ oder $^1/_5$, . . . der ganzen Länge beträgt, so schwingt er mit einem (Fig. 254) oder zwei Schwingungsknoten.

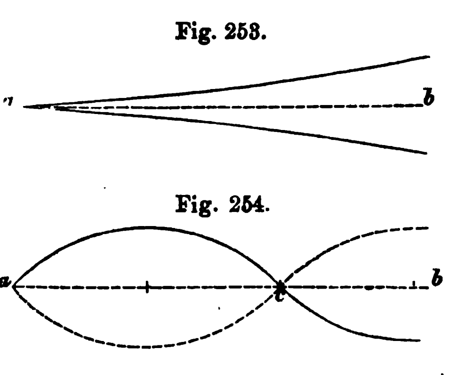


Fig. 253.

Fig. 254.

a) Stimmgabel. Man bedient sich der Simmgabel um den Ton des einmal überstrichenen $\overline{a} = 440$, nach welchem die Stimmung der Toninstrumente und die Tonhöhen in der Musik überhaupt geregelt werden, jederzeit genau bestimmen zu können. Diesem $\overline{a} = 440$ Schwingungen entspricht am Claviere für $\overline{c} = 264$ Schwingungen, und das tiefe $\underline{\underline{C}}$ der Orgel $\underline{\underline{C}} = 16{\cdot}5$,

während in früherer Zeit $\underline{\underline{C}} = 16$ und $\overline{c} = 256$, daher $\bar{a} = 426^2/_3$ angenommen wurde.



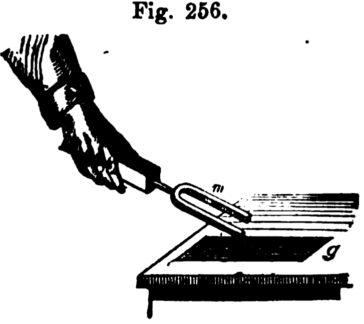
Fig. 255.

b) Wheatstone's Kaleidophon; Eisenvioline. Durch eine Stricknadel, welche an dem freien Ende ein polirtes Knöpfchen trägt, lässt sich zeigen, dass die Schwingungen eines runden Stabes selten in einer Ebene liegen und am Ende des Stabes symmetrische Figuren erzeugen. Darauf beruht Wheatstone's Kaleidophon.

Die Eisenvioline und die Spieldose sind Instrumente, deren Töne durch Stäbe oder Metallzungen erzeugt werden, welche an einem Ende befestigt, am andern aber frei sind.

c) Stimmgabel als Zeit- und Tonmesser (Fig. 256). Ist die absolute Tonhöhe oder die Anzahl der Schwingungen genau bekannt, welche eine Stimmgabel in der Secunde macht, so kann ihre Wellenzeichnung (Phonautogramm) als Zeitmesser benützt werden.

Fig. 256.



Wenn auf dem Cylinder des Phonautographen (Fig. 248) neben dem Stifte der schwingenden Membrane zugleich eine Stimmgabel ihre Wellen aufzeichnet, so braucht man nur von beiden Zeichnungen ein kurzes gleich langes Stück zu nehmen und die Wellen abzuzählen, um zu erfahren, wie viel Schwingungen der unbekannte Ton in der Secunde macht.

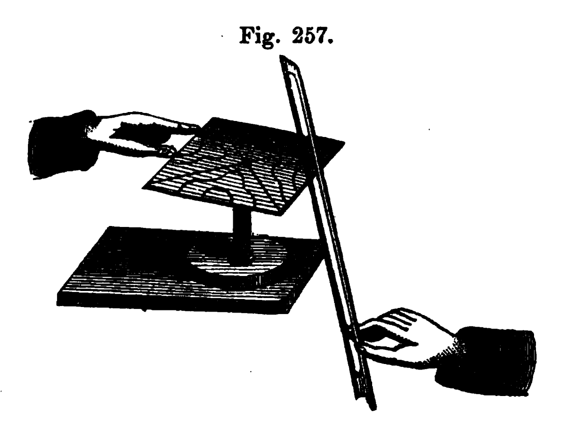
Ist N die absolute Tonhöhe der Stimmgabel, n die abgezählte Zahl ihrer Schwingungen, z die Zahl der gleichzeitigen Schwingungen des unbekannten Tones; so ist die Zeit t, während die n oder z Schwingungen gemacht worden sind, $t = \frac{n}{N}$ Secunden. — Ist Z die Tonhöhe des gesuchten Tones, so hat man auch

$$N : n = Z : z, \quad \text{also } Z = N \cdot \frac{z}{n}.$$

B. Wird eine elastische Platte an einer Stelle festgehalten und mit einem Violinbogen passend gestrichen (Fig. 257), so wird sie in transversale Schwingungen versetzt. Die entstandenen Wellen verbreiten sich vom Orte des Streichens über die

Platte, werden an den Rändern reflectirt und bringen durch Interferenz mit den directen stehende Schwingungen hervor. Tritt in Folge des Streichens eine regelmässige Schwingung ein, so hört

Fig. 257.



man einen Ton und bemerkt an einer mit feinem Sand bestreuten Platte regelmässige Ruhelinien, ähnlich den Ruhepunkten der Saiten, man nennt sie Knotenlinien. Durch diese sind die in entgegengesetzten Richtungen schwingenden Plattentheile gesondert.

Die mittelst des Sandes sichtbar gemachten Knotenlinien nennt man Chladnische Klangfiguren. Die Beschaffenheit der Figur ist von der Gestalt der Platte und vom Tone abhängig. Je höher der Ton, desto zusammengesetzter die Figur. Die Tonhöhe selbst richtet sich nach der Stärke und Geschwindigkeit des Anstreichens und steht im geraden Verhältnisse mit der Dicke, aber im umgekehrten mit dem Quadrate der homologen Dimensionen.

Durch allmäliges Fortschreiten mit dem Violinbogen am Rande einer kreisförmigen Scheibe lässt sich auch ein Fortschreiten der Knotenlinien bewirken.

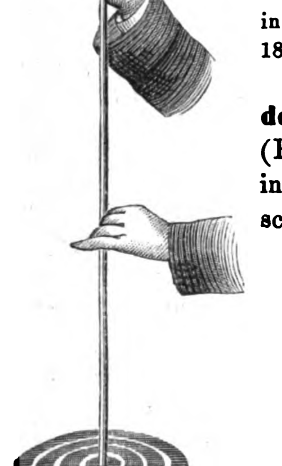
So wie Stäbe und Platten können auch andere feste Körper in eine stehende Schwingung versetzt werden, wo dann die schwingenden Theile durch Knotenflächen getrennt erscheinen, wie man sie als Durchschnittslinien auf der mit Semen licopodii oder Hexenmehl bestreuten Oberfläche des Wassers in einer tönenden Glocke beobachtet.

d) Elastische Stäbe können aber auch durch longitudinale Schwingungen zum Tönen gebracht werden, indem man sie der Länge nach

streicht entweder mit nassen Fingern oder mit Tuch, das nach Umständen mit Bimsstein bestreut oder mit Geigenharz bestrichen wird (Fig. 258).

Die longitudinalen Schwingungen finden in der Musik keine Anwendung, wurden aber von Chladni zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in festen Körpern benützt. Hält man den Stab in der Mitte, während seine longitudinalen Schwingungen einen Ton n geben, so hat er in der Mitte einen Schwingungsknoten im Abstande $\frac{\lambda}{4}$ vom Ende. Also $\frac{l}{2} = \frac{\lambda}{4}$. Ist c die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in dem Material des Stabes, so ist $n\lambda = c$, mithin $c = 2nl$. Im Vorhergehenden haben wir mehrere Methoden zur Bestimmung der absoluten Tonhöhe n des vernommenen Tones kennen gelernt, daher ist diese Fortpflanzungsgeschwindigkeit c leicht zu berechnen.

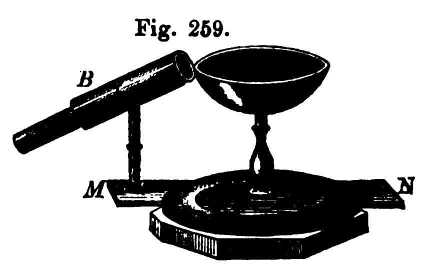
Fig. 258.



Chladni fand die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Fichtenholze 16mal grösser als in der Luft; und in andern Holzarten $10^2/_3$ bis 18mal, in Eisen $16^2/_3$mal grösser.

§. 19. Resonanz oder das Mittönen der Körper. Der Ton einer Glocke (Fig. 259) wird durch das Mittönen einer in der Nähe in einer Röhre B eingeschlossenen Luftsäule so auffallend ver-

Fig. 259.



stärkt, dass der schon verklingende Ton bei der Annäherung der Säule an die Glocke wieder deutlich vernommen wird, wenn die Luftsäule in B die zur Erzeugung des Tones der Glocke erforderliche Länge hat. Zur Regulirung der Länge dieser Luftsäule besteht B aus zwei in einander verschiebbaren Röhren.

Besitzt eine Saite, die neben der tönenden ist, die zum Einklang nothwendige Spannung und Länge, so schwingt sie so stark mit, dass kleine Papierreiterchen herabgeworfen werden.

Wenn zwei benachbarte Körper die zu ihrem **Einklang** erforderlichen Bedingungen besitzen, so theilen sich die Schwingungen des ersten dem zweiten durch das Medium mit, und der zweite Körper **tönt mit**.

Das Mittönen der Körper nennt man **Resonanz**.

Auf diese Weise wirken die Resonanzboden der Saiteninstrumente. Wheatstone hat gezeigt, dass wenn man den Resonanzboden eines Fortepiano's durch einen dazu senkrechten Draht, von der Dicke einer Schreibfeder, mit einem bedeutend entfernten Resonanzboden ebenfalls unter einem rechten Winkel verbindet, die Töne, welche auf dem ersten Instrumente hervorgerufen werden, mit grosser Deutlichkeit am zweiten vernommen werden können, selbst wenn beide Fortepiano's durch mehrere Zimmer von einander getrennt sind.

Singende und schallempfindliche Flammen. Wenn eine Gasflamme in einer Röhre brennt, wie bei der chemischen Harmonika, so wird die Luft, die über der Flamme hingeht, in Schwingungen versetzt, wodurch in der angesetzten Röhre ein musikalischer Ton entstehen kann.

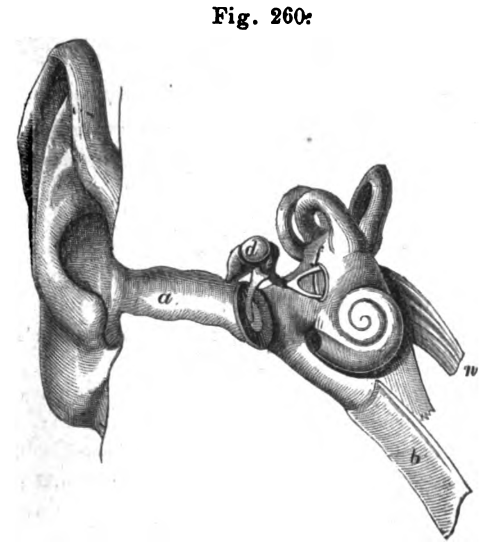
In der Ausströmungsöffnung des Gases bilden sich verschiedene Luftschwingungen, ähnlich wie durch die Brandung des Luftstromes an der Lippe der Orgelpfeife. Ist die über die Flamme gestellte Röhre auf dieselbe Schwingungsart abgestimmt, so genügt eine geringe Veranlassung, ein durch die Luft ziehender Wellenzug **von gleicher Tonhöhe**, um die Luftsäule in der Röhre zur Resonanz und zum Tönen anzustimmen.

Gibt man einen Ton an, der aber nicht ganz genau im Einklange ist mit der Luftsäule der Röhre, in der eine schwingende Flamme brennt, so hüpft die Flamme, und wenn ihre Stellung in der Röhre richtig gewählt ist, können wir sie durch unsere Stimme anrufen und zum Singen veranlassen. Eine singende Flamme zeigt in einem rotirenden Spiegel eine Reihe **einzelner** Flammenbilder, zum Beweise, dass sie in rhythmischer Reihenfolge fast erlischt und wieder aufflackert. Eine ähnliche Empfindlichkeit für die die Luft durchziehenden Töne zeigen freie Flamme und auch ohne Flamme ausströmende Gase, bei denen man die Erscheinung durch beigemengten Rauch sichtbar macht. Nimmt der Druck des ausströmenden Gases zu, so kommt das ausströmende Gas in starke Schwingungen, die ein **Flackern** oder Brausen der Flamme erzeugen. Wird nun ein äusserer Ton von derselben Schwingungszahl erzeugt, so empfindet ihn die Flamme aus grosser Entfernung und geräth in Schwingungen, die zungenförmige Verlängerungen und Verkürzungen derselben hervorrufen.

§. 20. **Das Gehörorgan** (Fig. 260). Die **Ohrmuschel** nimmt die von dem Schallerreger ankommenden Schallwellen auf und leitet sie in den äusseren **Gehörgang**. Der Gehörgang ist mit einer feinen Membrane geschlossen, die man **Trommelfell** heisst; dieses wird durch die anschlagenden Wellen in Schwin-

gung versetzt. Die aufgenommenen Schallwellen pflanzen sich mittelst der sogenannten Gehörknöchelchen und der atmosphärischen Luft durch die hinter dem Trommelfelle liegende Trommel- oder Paukenhöhle fort und gelangen zu dem sogenannten Labyrinth, wo sie an feine Membranen (das ovale und runde Fenster) anschlagend, den Impuls einer in Höhlungen eingeschlossenen Flüssigkeit mittheilen. Der in dieser Flüssigkeit sich ausbreitende Gehörnerv wird durch die mitgetheilten Schwingungen angeregt und veranlasst die Empfindung des Hörens.

Fig. 260.



Das Zusammenwirken aller Theile des Gehörorganes macht uns möglich, die mannigfaltigsten Unterschiede in der Stärke, Höhe, Richtung, Qualität und Zusammenstellung des Schalles zu unterscheiden. Wir hören beim Zusammenklingen der Töne nicht blos jeden einzeln, sondern wir nehmen überdies noch die resultirende Wirkung als Consonanz oder Dissonanz wahr, und bemerken das successive Anwachsen und Nachlassen der periodisch mit einander bald mehr übereinstimmenden, bald einander mehr entgegengesetzten Eindrücke als Schwebungen des Tones.

§. 21. **Klangfarbe. Harmonische Obertöne.** Die Versuche der Saitenschwingungen am Monochord lehren uns, dass eine Saite sich in eine Anzahl gleicher Theile theilen kann, deren jeder für sich schwingt.

Ist die Scala des Monochords in 36 gleiche Theile getheilt und man schnellt oder streicht die gespannte Saite bei der Zahl 12, und berührt sie bei 18 einen Augenblick mit dem Bart einer Kielfeder, so schwächt man durch diese Berührung die Schwingung und den ursprünglichen Ton der ganzen Saite, während die Schwingung seiner Octav, welche in der Mitte bei 18 einen Schwingungsknoten hat, wenn sie vorhanden ist, nicht gestört wird. In der That hört man bei dieser Däm-

pfung des Grundtones der Saite ihre Octav deutlich ertönen.

Dieser Versuch zeigt, dass im Allgemeinen immer eine Uebereinanderlagerung der Schwingungen der Saite vorhanden ist; und dass man den einem aliquoten Theile entsprechenden Ton hörbar machen kann, wenn man den Grundton durch Dämpfung abschwächt.

Nimmt man den Grundton = *1*, so geben die aliquoten Theile: $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ etc. die Töne *2, 3, 4* etc. Diese den aliquoten Theilen der Saite entsprechenden Töne, welche den Grundton zu begleiten pflegen, werden die harmonischen Töne oder die Obertöne genannt. Töne, deren Schwingungszahlen ein ganzes Vielfaches des Grundtones sind, heissen also Obertöne.

So wie bei Saiten, entstehen auch bei andern tönenden Körpern bald mehr bald weniger Obertöne. Bei verschiedenen tönenden Körpern gesellen sich zu dem Grundton auch verschiedene Obertöne. Eine Klarinette und eine Violine können auf denselben Grundton genau abgestimmt sein, und doch besitzen ihre gleich hohen Töne für unser Ohr ein so charakteristisches Merkmal, die Klangfarbe genannt, dass wir daran das Instrument gleich erkennen. Die Klangfarbe entsteht durch die jedem Instrumente eigenthümlichen Obertöne, die sich seinem Grundton beigesellen.

Die Obertöne der Saiten können innerhalb gewisser Grenzen verstärkt und geschwächt werden. Die Instrumentenmacher haben gefunden, dass die lieblichsten vollsten Töne entstehen, wenn der Punkt, gegen welchen der Hammer am Claviere schlägt, $^1/_7$ bis $^1/_9$ der Länge der Saite von ihrem Ende entfernt ist. — Helmholtz hat dann gezeigt, dass alle Obertöne der Saiten bis auf den Oberton 7 und 8 mit dem Grundtone derselben im Einklange stehen; indem man also den Hammer an die Stelle zwischen $^1/_7$ und $^1/_9$ anschlagen lässt, verhindert man dort die Entstehung eines Knotenpunktes und des entsprechenden dissonirenden Obertones.

Helmholtz gibt als wesentlichste Resultate seiner Untersuchung über Klangfarbe an:

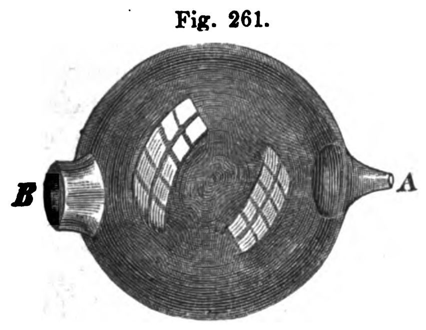
1. Einfache Töne, wie Stimmgabeln mit Resonanzröhren und weite gedeckte Pfeifen klingen weich und angenehm ohne alle Rauhigkeit, aber unkräftig und in der Tiefe dumpf.

2. Klänge, welche von einer Reihe niederer Obertöne, etwa bis zum sechsten hinauf in mässiger Stärke begleitet sind, nehmen sich klangvoller und musikalischer aus. Hierher gehören die Klänge des Claviers, der offenen Orgelpfeifen etc.

3. Wenn nur ungeradzahlige Obertöne da sind, wie bei engen gedeckten Pfeifen, den in der Mitte geschlagenen Claviersaiten, und Clarinetten etc., so bekommt der Klang einen hohlen, bei grösserer Anzahl der Obertöne einen näselnden Charakter.

4. Wenn die höhern Obertöne jenseits des sechsten und siebenten sehr deutlich sind, so wird der Klang scharf und rauh. Bei geringerer Stärke beeinträchtigen die hohen Obertöne die musikalische Brauchbarkeit nicht, sie sind im Gegentheil günstig für den Charakter und die Ausdrucksfähigkeit der Musik. Von der Art sind die Klänge der Streichinstrumente, die meisten Zungenpfeifen, die Physharmonika etc. Klänge, bei welchen die hohen Obertöne besonders stark sind, wie bei den Blechinstrumenten, erhalten dadurch etwas ungemein Durchdringendes.

Fig. 261.

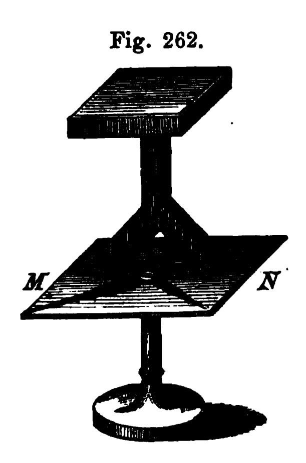


Die Resonatoren von Helmholtz (Fig. 261) sind Glaskugeln, welche zur Beobachtung der Obertöne eines Klanges dienen. Die engere Oeffnung *A* wird in den Gehörgang eingesetzt, die weitere *B* der Tonquelle zugekehrt, von welcher der Klang kommt, der analysirt werden soll. — Die Luftmasse in der Kugel ist auf einen bestimmten eigenen Ton abgestimmt, daher wird der Resonator durch einen gleichen Ton des Klanges zum Mittönen angeregt. Kommt in einem mittelst des Resonators beobachteten Klange der eigene Ton des Resonators vor, so hört ihn das Ohr verstärkt erklingen (Klanganalyse).

§. 22. **Interferenz des Schalles. A. Interferenz gleicher Schallwellen.** Ueberzieht man ein hohles Kästchen (Fig. 262) oben mit gespanntem Papier und setzt in der Mitte des Bodens eine einmündende verticale Röhre an, welche in zwei unten offene Arme ausgeht, so hat man das Interferenzkäst-

chen. Wird die gespannte Papierfläche mit Sand bestreut und die offenen Arme über zwei übereinstimmend schwingende Theile einer grossen tönenden Metallplatte gehalten, so erscheint der Ton der Platte sehr verstärkt und der Sand bildet eine Klangfigur. — Hält man dagegen die Arme über zwei nach entgegengesetzten Richtungen schwingende Plattentheile, so bemerkt man weder eine Verstärkung des Tones noch eine Klangfigur. — Es heben sich im letztern Falle die von der schwingenden Platte in der Luft erzeugten Verdichtungen und Verdünnungen im Kästchen, wo sie gleichzeitig zusammentreffen, gegenseitig auf, während im ersten Falle stets Verdichtung mit Verdichtung oder Verdünnung mit Verdünnung zusammentrifft und sich verstärkt, wie es die Interferenzgesetze gezeigt haben.

Fig. 262.

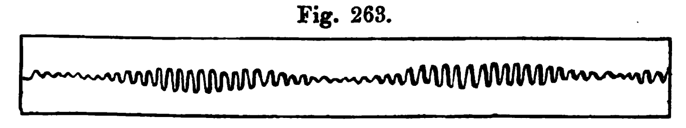


B. Interferenz etwas ungleicher Schallwellen.

1. Schwebungen oder Stösse der Töne. Zur Nachweisung der Stösse sind die Diaspason-Stimmgabeln geeignet. Hat man zwei solche mit vollkommen gleichem Ton neben einander aufgestellt, so braucht man nur an die eine etwas Wachs anzukleben, um die Stösse sehr deutlich hörbar zu machen, sobald beide Stimmgabeln durch Anstreichen mit dem Fiedelbogen gleichzeitig zum Tönen gebracht werden.

Die Fig. 263 stellt diesen zusammengesetzten Wellenzug dar. Das übereinstimmende Zusammenwirken der Wellensysteme

Fig. 263.



verstärkt die Verdichtungen und Verdünnungen und bringt so ein Anschwellen des Tones hervor, wo hingegen einem fast gänzlichen Aufheben der Wellensysteme ein starkes Nachlassen des Tones entspricht.

Dieses Nachlassen und Anschwellen eines zusammengesetzten Tones nennt man Schwebungen oder Stösse der Töne.

Zählt der Ton der unbelasteten Stimmgabel 256 Schwingungen, bei der belasteten aber 255 Schwingungen; so kommt die unbelastete in $^1/_2$ Secunde der belasteten um $^1/_2$ Welle zuvor, daher fallen dann ihre Verdichtungen und Verdünnungen zusammen, heben sich auf und geben den Moment keinen Ton. Von da an unterstützen sie sich wieder mehr und mehr, bis am Ende einer Secunde die belastete ihre 155te, die unbelastete ihre 156te Schwingung vollendet hat, wobei wieder die Coincidenz ihrer gleichnamigen Wellentheile den Ton am meisten verstärkt wie ursprünglich.

Wird die eine Stimmgabel noch mehr belastet, so dass sie nur 250 Schwingungen macht, so macht die unbelastete 6 Wellen in der Secunde mehr als die andere; es tritt also 6mal Coincidenz mit dem Maximum des Tones und 6mal Interferenz mit Aufhebung des Tones in der Secunde ein.

Die Anzahl der Stösse in der Secunde ist also immer gleich dem Unterschiede der Schwingungszahlen der schwebenden Töne.

2. Die Ursache der musikalischen Consonanz und Dissonanz kann man mit Stimmgabeln untersuchen, welche der Reihe nach die den Schwingungszahlen:

256, 288, 320, 384, 480, 512

entsprechenden Grundtöne geben.

Nimmt man zwei Stimmgabeln *256* von demselben Tone *1:1*, die an ihrem Resonanzkasten befestiget sind, und zieht mit dem Violinbogen über beide nach einander hin, so tönen sie zusammen und ihr vereinter Ton erscheint unserem Ohre angenehm wie der Ton einer einzigen Stimmgabel.

Lässt man ebenso die beiden Stimmgabeln *256* und *512* oder die Töne *1:2* zusammentönen, so fliessen sie auch harmonisch zusammen.

Bringt man der Reihe nach je zwei Stimmgabeln: *256* mit *384*, *384* mit *512*, *256* mit *320*, *320* mit *384*, und dann *256* mit *288* zusammen zum Tönen, so hört man der Reihe nach die Töne *2:3; 3:4; 4:5; 5:6* und *8:9* zusammentönen und merkt, dass die Verbindung der letzten zwei Töne eine Dissonanz gibt, während alle anderen eine Consonanz erzeugen.

Die vollkommenste Consonanz ist der Einklang *1:1*, hierauf folgt die Octave *1:2*, d. h. die Töne *1* und *2* klingen nach dem Einklange am vollkommensten zusammen. Hierauf kommt die Quinte *2:3*, dann die Quarte *3:4*, dann die

grosse Terz *4:5* und die kleine Terz *5 : 6*. Für ein empfindliches musikalisches Ohr erscheint schon die Quart etwas weniger harmonisch, bei der Terz ist die Rauheit des zusammengesetzten Tones noch ausgesprochener.

Daraus folgt das Gesetz, dass das Zusammenklingen zweier Töne desto harmonischer ist, je kleiner die Zahl ist, welche das Verhältniss ihrer Schwingungen ausdrückt. — Mehrere consonirende Töne bilden einen Accord.

Die Ursache der Consonanz und Dissonanz hat erst Helmholtz aufgedeckt und nachgewiesen, dass zwei Töne dann die grösste Dissonanz geben, wenn sie 33 Stösse in der Secunde erzeugen. Finden weniger als 33 Stösse in der Secunde statt, so sind sie dem Ohr weniger unangenehm; wächst ihre Zahl über 32, so wird die Rauheit auch geringer und verschwindet bei 132 Stössen in der Secunde.

Je näher also die Anzahl der Stösse in der Secunde an Null kommt, oder je mehr sich die Differenz der Schwingungszahlen der Töne der Null nähert, und je mehr diese Anzahl 132 erreicht oder überschreitet, desto mehr verschwindet die Wahrnehmung der Stösse, und die Dissonanz, desto harmonischer das Zusammenklingen der Töne.

Aus den Schwingungszahlen obiger Stimmgabeln ergibt sich beim Einklange die Differenz = *0*, bei der Octav = *256*, bei der Quinte = *128*, bei der Quart = *72*, bei der grossen Terz = *64*, und bei der Second die Differenz = *32*, so dass bei der Second 32 Stösse in der Secunde und nach Helmholtz fast die grösste Rauhigkeit (33) eintritt. — Prim und Second, Prim und Septim geben Dissonanzen.

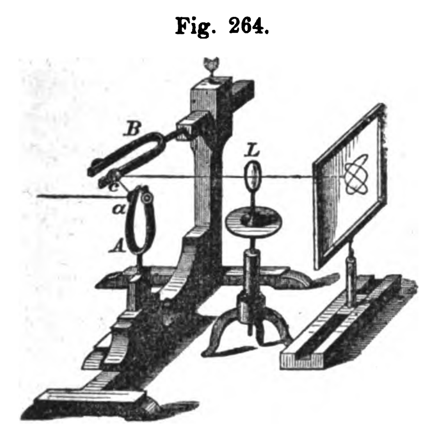
3. Combinationstöne. Helmholtz hat nachgewiesen, dass das Gesetz der Uebereinanderlagerung oder der Coëxistenz der Schwingungen, wonach in einem Gemisch von Tönen jeder Ton seine Individualität behält, in der Praxis nur bei kleinen Schwingungen der Theilchen wirklich besteht. Wenn zwei Töne so intensiv sind, dass die Grenzen der Coëxistenz der Schwingungen überschritten wird, so erzeugen sie secundäre Wellen, welche ihren Obertönen entsprechen, und wir nennen sie Combinationstöne.

Es gibt zwei Arten Combinationstöne; die Schwingungszahl der einen Art ist gleich der Differenz, die der zweiten Art aber gleich der Summe der Schwingungszahlen der primären Töne. Die ersteren nennt Helmholtz Differenztöne, die letzteren Summationstöne.

Die Ansicht von Young, wornach ein Combinationston aus Stössen hervorgehen sollte hat Tyndall durch Versuche widerlegt; er erzeugte mittelst tönender Flammen einen musikalischen Combinationston mit 33 Schwingungen in der Secunde, wo hingegen 33 Stösse in der Secunde für das geübte Ohr eine unerträgliche Dissonanz ergeben.

§. 23. **Kennzeichen der absoluten Gleichheit der Töne.** Lissajous Versuche (Fig. 264). Bringt man die verticale Stimmgabel allein zum Tönen, so beschreibt der vom Spiegel an ihrem Zinke reflectirte Lichtstrahl eine gerade verticale Linie auf dem Schirme. Lässt man die horizontale Gabel allein tönen, so beschreibt der Lichtstrahl eine gerade horizontale Linie. — Es seien beide ganz gleich gestimmt, so dass sie ganz gleiche Schwingungen geben. Lässt man beide Stimmgabeln gleichzeitig tönen, so beschreibt der Lichtstrahl die aus den rechtwinkligen Componenten hervorgehende Bewegung, und beschreibt bald einen Kreis, bald eine Ellipse, bald eine gerade Linie.

Fig. 264.



Wir haben diese Zusammensetzung rechtwinkliger Schwingungen bereits am Centrifugalpendel kennen gelernt. — Wenn also die Schwingungen der zwei Stimmgabeln in jeder Beziehung gleich sind, so wird wie beim Pendel im Allgemeinen der Strahl eine Ellipse beschreiben, denn um eine gerade Linie zu beschreiben, müssten beide Stimmgabeln immer gleichzeitig ihre Ruhelage passiren; und um einen Kreis zu beschreiben, müsste die eine eben am Wendepunkte sein ($^1/_4$ Schwingung), während die andere die Ruhelage passirt.

Haben beide Stimmgabeln genau denselben Ton, also gleiche Schwingungsdauer, so bleibt die Figur, welche sie auf dem Schirme hervorbringen, in ihrer Form unverändert, und nimmt nur mit dem Aufhören der Schwingung an Grösse ab.

Bei dem kleinsten Unterschiede der Schwingungsdauer aber wechselt die Form der Figur.

Bringt man an eine Zinke einer Stimmgabel, die früher mit der zweiten im vollkommenen Einklange war, etwas Wachs, so stört man den Einklang, und man sieht wie die vom Lichtstrahl beschriebene Figur, beim ungestörten Forttönen, allmälig aus einer geraden Linie in eine Ellipse und von dieser in einen Kreis etc. übergeht.

Je mehr man die einer Zinke belastet, desto rascher wechselt die Form der Figur, und so oft eine Gabel der andern um eine Schwingung zuvorkommt, tritt wieder die ursprüngliche Figur auf.

Daraus wird es klar, dass man durch den Wechsel der Figuren leicht kleine Unterschiede in der Schwingungsdauer entdeckt, und dass die Unveränderlichkeit der Figur das sicherste Erkennungszeichen für vollkommene Gleichheit der Töne gibt.

Ersetzt man beim Versuche eine Stimmgabel durch eine andere, welche ihre Octav gibt, so erhält man am Schirme die der Verbindung des Grundtones mit seiner Octav entsprechenden Figuren, und zwar bald eine Lemniscate, bald eine Parabel und andere Uebergangsfiguren derselben.

Alle die zusammengesetzten Schwingungscurven zweier Stimmgabeln können auch durch einzelne schwingende Stahlstäbe erzeugt werden. Ein Stab, der nach allen Richtungen hin gleich schwingt, erzeugt die Curven der zwei im Einklange stehenden Stimmgabeln. Ein anderer viereckiger Stab, der so gerichtet ist, dass er nach einer Seite hin doppelt so schnell schwingt als nach der andern, beschreibt mit seinem Endpunkte die Schwingungscurven des Grundtones und seiner Octav.—Wheatstone vervollständigte sein Kaleidophon durch Stäbe, welche die Schwingungscurven sämmtlicher musikalischer Tonintervalle darstellen.

Neunter Abschnitt.

Optik.

§. 1. **Bedingungen des Sehens und Verschiedenheit der Körper bezüglich des Lichtes.** Licht heisst man die Ursache der Wahrnehmung der Gegenstände vermittelst des Gesichtsorganes. Ein Körper, der gesehen werden soll, muss erst durch

das Licht in den Zustand der Helligkeit versetzt werden. Geringe Grade von Helligkeit nennt man Dunkelheit, einen Mangel derselben aber Finsterniss.

Körper, welche Licht um sich verbreiten, nennt man leuchtende, wie z. B. die Sonne, die Fixsterne und brennende Körper; jene Körper aber, die erst durch die Gegenwart eines leuchtenden Körpers sichtbar erscheinen, heissen beleuchtete Körper, diese werden wegen ihres Lichtmangels auch dunkle Körper, genannt. Manche Körper heben die Beleuchtung oder das Sichtbarwerden eines andern Körpers ganz auf, wenn sie zwischen die Lichtquelle und den Körper oder das Auge gebracht werden und heissen deshalb undurchsichtig; durchsichtig hingegen, wenn auch nach ihrem Dazwischentreten die Beleuchtung oder das Sichtbarsein noch fortdauert. Wenig durchsichtige Körper heissen durchscheinend.

§. 2. **Undulations-Theorie.** Sämmtliche Lichterscheinungen lassen sich aus der Annahme erklären, dass das Licht, dem Schalle ähnlich, auf der Fortpflanzung von Impulsen beruhe, welche die leuchtenden Körper in einem alle Räume erfüllenden, sehr feinen unwägbaren elastischen Medium, Aether genannt, erzeugen. Die Theorie, welche die Lichterscheinungen aus der schwingenden Bewegung des Aethers ableitet, heisst Undulations-Theorie. Ein leuchtender Körper ist ein solcher welcher den Aether in schwingende Bewegung versetzt. Pflanzt sich diese Bewegung fort und trifft sie mit hinlänglicher Kraft unser Sehorgan, so bewirkt sie das Sehen. Die Aetherschwingungen erfolgen der Theorie nach sowohl in der Richtung der Fortpflanzung der Wellen, als auch in einer dazu senkrechten Ebene, d. h. die Aetherschwingungen sind sowohl longitudinal als transversal. Das Auge nimmt jedoch nur die transversalen Aetherschwingungen als Licht wahr (vergleiche Interferenz des Lichtes), daher hat man nur transversale Aetherschwigungen zu betrachten. Darin liegt ein wesentlicher Unterschied zwischen Licht- und Schallschwingungen.

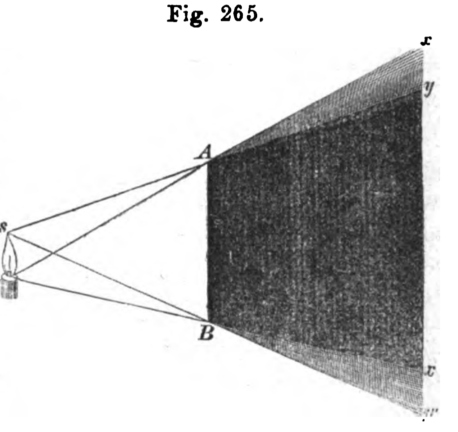
Bei schallenden Körpern ist von der Schwingungsdauer die Tonhöhe abhängig, bei leuchtenden die Farbe des Lichtes. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist bei Licht- wie

bei Schallwellen der Quadratwurzel aus der specifischen Elasticität des Mittels proportional.

a) Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes. Nach den Gesetzen der Wellenbewegung sind in einem gleichförmig elastischen Medium die Oberflächen der erzeugten Wellen kugelförmig. Jeder Halbmesser einer kugelförmigen Lichtwelle ist ein Lichtstrahl, d. i. jene Richtung, nach welcher sich die Wirkung des Lichtes fortpflanzt. So lange also das Licht in einem gleichförmig elastischen Medium sich fortpflanzt, behalten die Lichtwellen die Kugelform und der Lichtstrahl ist geradlinig, d. h. das Licht pflanzt sich in geraden Richtungen fort. — Erst nach dem Eintritte in ein anderes Medium tritt eine Störung der ursprünglichen kugelförmigen Wellen ein, wodurch auch die geradlinige Fortpflanzung gestört wird.

b) Planwellen der Lichtstrahlen. Ist die Lichtquelle weit entfernt, wie z. B. die Sonne, so kann man mehrere nahe aneinander liegende Lichtstrahlen als parallel und das kleine Stückchen der sie begrenzenden Kugeloberfläche als eine auf diesen Strahlen senkrechte Ebene ansehen. Diese Ebene nennt man dann eine Planwelle. Ein Lichtbündel, das man durch eine kleine Oeffnung in ein verfinstertes Zimmer eintreten lässt, bildet einen Complex nahe liegender Strahlen, die von einer solchen Planwelle begrenzt werden; daher kann man ein solches Lichtbündel auch einfach einen Lichtstrahl nennen.

Fig. 265.



§. 3. Folgen der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes. Die Bildung des Schattens und die Abnahme der Stärke der Beleuchtung bei zunehmender Entfernung beruhen darauf.

a) Der Schatten. Fallen die von dem leuchtenden Punkte S (Fig. 265) kommenden Strahlen auf eine undurchsichtige Wand,

so gelangt von S in den hinter dieser Wand zwischen $xABx'$ liegenden Raum kein Lichtstrahl, d. h. dieser Raum ist von AB beschattet. Denkt man sich den leuchtenden Punkt ausgedehnt von S nach s, so gelangen von s in den Raum $yABy'$ keine Lichtstrahlen. Es bleibt also noch immer ein Raum $yABx'$ ganz lichtlos, und man nennt dessen Schatten einen Kernschatten. Die Räume xAy und $x'By'$ aber werden von den Grenzlinien Ay und Bx' gegen Ax nnd By' hin immer stärker beleuchtet, und bilden einen allmäligen Uebergang von vollkommenem Schatten zur völligen Beleuchtung, welchen man Halbschatten nennt. — Stellt man in den Schattenraum eine Wand, so erscheint auf ihr ein Durchschnitt des Schattens.

Wenn der leuchtende Körper den beleuchteten an Grösse übertrifft, wie dies z. B. bei der Beleuchtung des Mondes oder der Erde durch die Sonne (Fig. 266) der Fall ist, so hat der Kernschatten ein Ende, im entgegengesetzten Falle aber nicht. Die Länge des Schattenkegels ist sowohl bei der Erde

Fig. 266.

als auch bei dem Monde grösser als die gegenseitige Entfernung dieser beiden Weltkörper; daher kann der Mondschatten die Erde treffen, z. B. in mn, wobei die Sonne verdeckt erscheint und eine Sonnenfinsterniss entsteht; es kann aber ebenso auch der Mond durch den Schattenkegel der Erde gehen, dann entsteht eine Mondesfinsterniss. — Der Durchschnitt des Erdschattens an der Mondesfläche erscheint immer kreisförmig, woraus wir auf die Kugelgestalt der Erde zurückschliessen können. Da sich der Mond von West nach Ost bewegt, so hat auch sein Schatten diese Bewegung, weshalb die Sonnenfinsterniss zuerst in den westlichen Gegenden sichtbar ist.

b) Abnahme der Stärke der Beleuchtung mit der Entfernung von der Lichtquelle. α) Denken wir uns die Oberfläche einer kugelförmigen Lichtwelle als eine Hohlkugel, in deren Mittelpunkte sich der leuchtende Punkt befindet,

so wird die innere Kugelfläche von senkrecht auffallenden Strahlen getroffen und gleichmässig beleuchtet erscheinen. Geht die Hohlkugel in eine grössere vom Halbmesser R über, so erscheint sie zwar auch gleichmässig erleuchtet, jedoch in geringerem Grade als früher, da jetzt dieselbe Anzahl von Strahlen über eine grössere Fläche ausgebreitet ist. Es muss demnach die Beleuchtung J einer Flächeneinheit desto schwächer sein, je mehr Flächeneinheiten die grössere Hohlkugel hat als die kleinere, daher ist

$$J : i = f : F,$$

wo i die Stärke der Beleuchtung der Fläche $f = 4r^2\pi$ und J jene der grössern Fläche $F = 4R^2\pi$ bedeutet, mithin für $r = 1$

$$J : i = 1 : R^2,$$

foglich

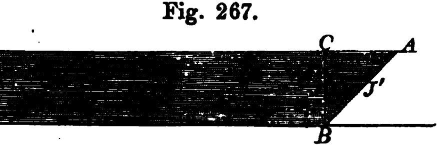
$$J = \frac{i}{R^2},$$

d. h. die Beleuchtung oder die beleuchtende Kraft des Lichtes nimmt im quadratischen Verhältnisse mit der Entfernung von der Lichtquelle ab.

Die Stärke der Beleuchtung einer Flächeneinheit in der Entfernung $r = 1$ nennt man Lichtintensität oder auch Beleuchtungskraft. — Wird also eine Wand von den Lichtstrahlen senkrecht getroffen, so ist ihre Beleuchtung gleich der Lichtintensität dividirt durch das Quadrat der Distanz.

β) Trifft aber das Licht die zu beleuchtende Fläche BA (Fig. 267) in schiefer Richtung unter den Neigungswinkel $CAB = \varphi$, so erscheint die Fläche offenbar so vielmal schwächer beleuchtet, als bei ihrer senkrechten Stellung BC, so vielmal grösser die Fläche BA als BC ist. Hat nun das Licht auf BC die Kraft $J = \frac{i}{R^2}$, und bezeichnen wir die unbekannte Beleuchtung von BA mit J', so ist

Fig. 267.



$$J : J' = BA : BC,$$

daraus

$$J' = J \cdot \frac{AC}{AB} = \frac{i}{R^2} \sin \varphi,$$

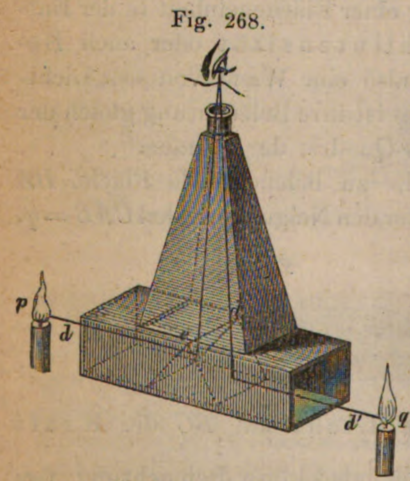
d. h. die Beleuchtung einer schiefen Fläche nimmt bei derselben Entfernung des Gegenstandes desto mehr ab, je kleiner der Sinus

φ wird, d. h. je mehr der Winkel, unter welchem die Strahlen auffallen, von einem rechten abweicht.

Daraus wird ersichtlich, dass auch die durch das Sonnenlicht auf der Erdoberfläche bewirkte Beleuchtung mit der Grösse des Winkels zunimmt, unter dem die Strahlen auffallen, daher mit der Sonnenhöhe sich ändert, am Tage zu Mittag, und im Laufe des Jahres zur Zeit des Sommersolstitiums am stärksten ist.

§. 4. **Photometrie.** Zu jeder Messung, so auch zu jener der Lichtstärke, wird ein unveränderliches gleichartiges Maass erfordert; aber wir kennen keine Lichtquelle, deren Itensität unveränderlich bliebe, wenn man selbst von der Gleichartigkeit absehen wollte. Die Lichtmessung, Photometrie genannt, hat daher kein wissenschaftlich genaues Maass und stützt sich auf die Fähigkeit unseres Auges, die Gleichheit oder Ungleichheit zweier gleichzeitig und in gleicher Entfernung betrachteten Beleuchtungen mit ziemlicher Sicherheit zu erkennen. — Darauf beruht das Photometer von Ritchie (Fig. 268). Dasselbe besteht aus einem rechtwinkligen, inwendig geschwärzten Kasten,

Fig. 268.



welcher an den Enden offen und in der Mitte mit zwei in *de* an einander stossenden und gegen die Axe des Kastens um 45⁰ geneigten Spiegeln oder Papierflächen versehen ist. — Die Spiegel oder die Papierflächen müssen aus demselben Stücke geschnitten sein, damit sie gleichartig sind. Die Kante *de* halbirt die über den beleuchteten Flächen befindliche Oeffnung eines pyramidalen, inwendig geschwärzten, zum Beobachten dienenden Ansatzes; die Oeffnung selbst wird mit einem mattgeschliffenen Glase, welches längs *de* durch einen schwarzen Strich in zwei Theile getheilt erscheint, bedeckt. — Man richtet nun so lange die Entfernung zweier bezüglich ihrer Lichtstärke p und q zu vergleichenden Lichtquellen, bis das matte Glas auf beiden Seiten von *de* gleich stark beleuchtet erscheint; dann misst man ihre Entfernungen d

und d' von der Mitte des Kastens und setzt, da die Neigung ihrer Strahlen gegen die erleuchteten Flächen dieselbe ist,

$$J = \frac{p}{d^2} \sin \varphi, \; J = \frac{q}{d'^2} \sin \varphi$$

und erhält so das Verhältniss ihrer Lichtstärken $p : q = d^2 : d'^2$, d. h. bei gleicher Beleuchtung verhalten sich die Lichtstärken gerade wie die Quadrate der Entfernungen der untersuchten Lichtquellen von den beleuchteten Flächen.

Nach diesem Satze wird auch bei dem Photometer von Rumford und von Bunsen die Lichtstärke der einen Lichtquelle mit der Stärke der andern verglichen.

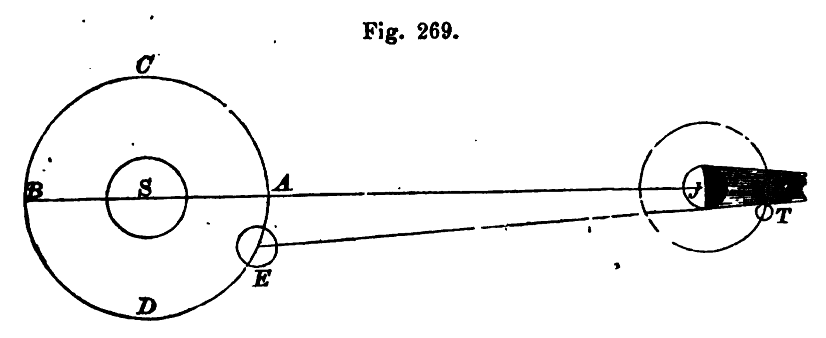
Das Photometer von Rumford besteht aus einem verticalen Stabe, der von zwei Lichtquellen beleuchtet, zwei Schatten auf eine verticale Hinterwand wirft. Bei gleicher Entfernung erscheint der Schatten des stärkeren Lichtes auch stärker. Man entfernt nun das stärkere Licht so weit, bis beide Schatten gleich dunkel sind, — und bestimmt die Distanzen von der beschatteten Wand.

Das Photometer von Bunsen besteht aus einem kreisförmigen Rahmen, überzogen mit weissem Papier, welches in der Mitte mit Stearin durchscheinend gemacht ist. Fällt nur von der Vorderseite Licht auf, so erscheint der durchscheinende Fleck dunkler als das übrige Papier, weil der durchgelassene Theil des Lichtes nicht in das Auge gelangt. — Fällt gleichzeitig von einer zweiten Lichtquelle Licht auf die Hinterseite, so dringen ihre Strahlen auch durch den Fleck, dessen Dunkelheit dadurch abnimmt. Bringt man allmälig das hinten stehende Licht in jene Fntfernung, bei welcher der dunkle Fleck ganz verschwindet, so geht von beiden Lichtquellen in entgegengesetzten Richtungen gleich viel Licht durch, d. i. die Lichtquellen haben jene Distanzen, bei welchen sie die Papierflächen gleich stark beleuchten.

§. 5. **Geschwindigkeit des Lichtes.** Die Geschwindigkeit des Lichtes hat zuerst der dänische Astronom Olof Römer gefunden, indem er aus der Verspätung des Eintrittes der Verfinsterung eines Jupitertrabanten schloss, dass der Bote dieser Erscheinung, das Licht, bei zunehmender Entfernung der Erde vom Jupiter bei uns um so später eintreffen müsse, je langsamer er gehe. Um die Möglichkeit der Berechnung der Lichtgeschwindigkeit einzusehen, denken wir uns (Fig. 269) in S die Sonne, um die sich die Erde E, so wie der Jupiter J mit seinem Trabanten T bewegt. Astronomische Beobachtungen haben gezeigt, dass der nächste Jupitertrabant bei jedem Umlaufe verfinstert wird und dass so lange die Erde bei A, z. B. in E ist, die Zeit von

einem Momente der Verfinsterung bis zu demselben Momente der nächstfolgenden sich gleich bleibt; bei zunehmender Entfernung der Erde aber zeigt sich eine Verspätung der Finsterniss, welche genau in demselben Verhältnisse zunimmt, in welchem die Entfernung der Erde vom Jupiter wächst.

Fig. 269.



Diese Thatsachen beweisen nicht nur, dass das Licht eine Zeit braucht um einen Weg zurückzulegen, sondern auch dass seine Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Weltraume eine gleichförmige ist. — Befindet sich die Erde bei B, also um den ganzen Durchmesser der Erdbahn $AB = 41.361{,}000$ geographische Meilen weiter vom J entfernt als bei A, so beträgt die Verspätung 16 Minuten 26 Secunden. Daraus folgt, dass das Licht bei seiner gleichförmigen Bewegung die Zeit $t = 16' \, 26'' = 986''$ braucht, um den Weg $s = 41.361{,}000$ geogr. Meilen zurückzulegen; daher ergibt sich nach dem bekannten Gesetze $c = \frac{s}{t}$ seine Geschwindigkeit nahe $c = 41{,}940$ geograph. Meilen.

Fizeau hat in der neuesten Zeit die Lichtgeschwindigkeit einer irdischen Lichtquelle gemessen und sie beinahe ebenso gross gefunden.

§. 6. **Reflexion des Lichtes.** Eine gänzliche oder theilweise Rückkehr des Lichtes an der Trennungsfläche zweier Medien in das alte Medium wird Reflexion des Lichtes genannt. Die Reflexion der Lichtwellen an der Trennungsfläche zweier Medien erfolgt nach denselben Gesetzen, wie die Reflexion der Schallwellen. Die bereits in der Akustik nachgewiesenen Reflexionsgesetze sind: 1. die auf eine Trennungsfläche auffallende Lichtwelle (folglich auch jeder Lichtstrahl) wird so reflectirt, als käme sie von einem Punkte, der ebenso weit hinter der Trennungsfläche

liegt, als die Lichtquelle von ihr entfernt ist; 2. der Einfallswinkel eines Lichtstrahles ist gleich seinem Reflexionswinkel; 3. der reflectirte Strahl liegt in derselben Ebene als der einfallende.

Das Reflexionsgesetz des Lichtes kann mit dem in Fig. 270 abgebildeten Apparate experimentell nachgewiesen werden. Im Mittelpunkte *o* eines Kreises steht die verticale Axe eines drehbaren Spiegels; der Spiegel trägt einen senkrecht auf seiner Ebene

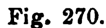
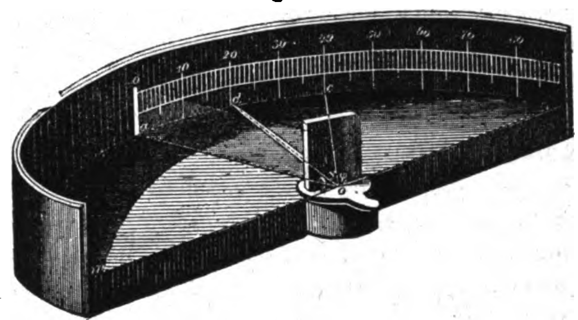


Fig. 270.



stehenden Zeiger, das Einfallsloth; dem Spiegel gegenüber hat die halbkreisförmige Wand an der Stelle *ao* einen schmalen Spalt, um Licht auf den Spiegel fallen zu lassen.

Dreht man den Spiegel, so dass der Zeiger auf die Oeffnung zeigt, so fallen die Lichtstrahlen in der Richtung des Einfallslothes senkrecht auf die Spiegelfläche und werden in der nämlichen Richtung zurückgeworfen. Dreht man den Spiegel um 5^{0}, so bildet der einfallende Lichtstrahl 5^{0} mit dem Einfallsloth, und wird in der Richtung auf 10^{0} hin reflectirt. In der Zeichnung ist der Einfallswinkel 20^{0}, der Reflexionswinkel 40^{0}. Derselbe Versuch zeigt auch deutlich, dass die Reflexion in der erweiterten Einfallsebene stattfindet.

a) Drehung des Spiegels und des Bildes. Der reflectirte Strahl dreht sich mit der doppelten Geschwindigkeit des Spiegels; denn bei einer Spiegeldrehung um 10^{0} beträgt seine Ablenkung $2 \times 10^{0} = 20^{0}$.

b) Regelmässige Reflexion. Ist die Trennungsfläche ein reiner Spiegel, so werden die Strahlen von derselben in ihrer ursprünglichen Anordnung reflectirt, so dass sie, wenn sie von der reflectirenden Fläche kommend unser Sehorgan treffen, dieselbe

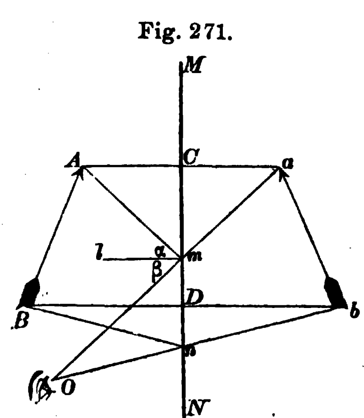
Erscheinung wie die directen Strahlen hervorrufen, d. h. die Trennungsfläche bewirkt das Sichtbarwerden des Körpers, dessen Strahlen sie reflectirt. Man nennt dann die reflectirende Fläche eine spiegelnde Fläche, die Reflexion selbst aber Spiegelung, und den in Folge der Reflexion im Auge veranlassten Eindruck des Gegenstandes das Bild des Gegenstandes.

c) Unregelmässige Reflexion. Ist hingegen die reflectirende Fläche rauh, so setzen sich die reflectirten Elementarwellen nicht mehr zu einer Hauptwelle zusammen, die Strahlen, die von einem Punkte her auffielen, werden nicht mehr so reflectirt, als kämen sie aus einem einzigen Punkte, d. i. das Licht wird zerstreut. Das zerstreute Licht macht uns die beleuchteten Gegenstände selbst sichtbar, indem es in unserem Auge den Eindruck der ihnen eigenthümlichen Flächen hervorruft.

§. 7. **Reflexion des Lichtes an ebenen Spiegeln.** Jede spiegelnde Fläche stellt uns einen Spiegel vor. Die regelmässig von der Spiegelfläche reflectirten Strahlen machen die Lichtquelle oder den beleuchteten Gegenstand sichtbar; die unmerklichen Erhabenheiten und Vertiefungen, die trotz aller Politur zurückbleiben, aber zerstreuen einen Theil des auffallenden Lichtes, wodurch wir die Spiegelfläche selbst sehen.

Es sei MN (Fig. 271) der normale Durchschnitt eines ebenen Spiegels, AB der vor dem Spiegel vorhandene beleuchtete Gegenstand. Um die Lage des Bildes von AB im Spiegel zu erhalten, wenden wir das erste Reflexionsgesetz an, indem wir den auf den Spiegel senkrecht auffallenden Strahl AC so weit verlängern, dass $AC = Ca$ wird, dann ist a der Punkt, von dem die dem A entsprechenden Strahlen nach der Reflexion herzukommen scheinen. — Befindet sich in O das Auge, und ziehen wir die Linie aO, so ist mO der von A in m auffallende und nach O reflectirte Strahl, denn aus

Fig. 271.



der Congruenz der Dreiecke $ACm = aCm$ folgt, dass $\sphericalangle\, \alpha = \beta$ ist. — Und so findet man das Bild von einem zweiten Punkte B

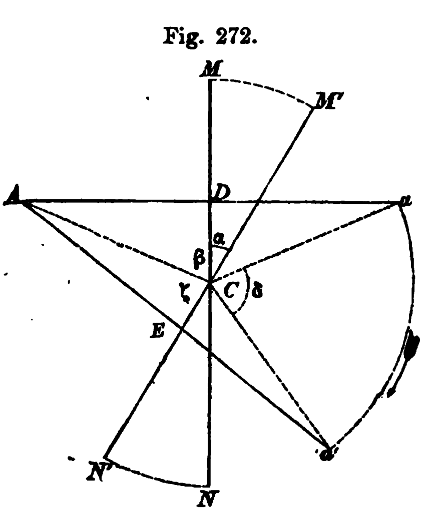
dadurch, dass man $Bd = Db$ setzt; also gibt ab die Lage des Bildes des Gegenstandes AB an. Bild und Gegenstand haben dieselbe Grösse und sind gegen die Spiegelfläche gleich geneigt. Ein auf die Spiegelfläche gerichtetes Auge sieht das Bild gerade so, als es den Gegenstand sehen würde, wenn es von der Spiegelfläche her auf ihn gerichtet wäre.

a) Der Punkt a ist der Durchschnittspunkt des Hauptstrahles, wenn wir einen senkrechten so nennen, und eines beliebigen zweiten reflectirten und rückwärts verlängerten Strahles. Wir können daher auch sagen: das Bild eines Punktes entsteht dort, wo sich die reflectirten Strahlen bei ihrer Verlängerung schneiden.

b) Bewegt sich ein Spiegel parallel mit sich, so bewegt sich auch das Bild und zwar mit der doppelten Geschwindigkeit. Rückt man den Spiegel MN parallel mit sich bis b, so hat er den Weg Db zurückgelegt; die Entfernung des Bildes hinter dem Spiegel ist jetzt gleich $Bd = 2Db$, also hat das Bild den doppelten Weg des Spiegels zurückgelegt.

c) Dreht sich der Spiegel, so dreht sich das Bild um den doppelten Winkel des Spiegels. Ist a (Fig. 272) das Bild von A im ruhigen Spiegel MN, und dreht man z. B. den Spiegel um den Winkel α, wodurch er in die Lage $M'N'$ kommt, so erscheint jetzt das Bild in a' und hat sich um einen Winkel $aCa' = \delta$ gedreht. Nun ist $\sphericalangle\, ACD = aCD = \beta$. $ACE = a'CE = \zeta$, und die Summe $\alpha + \beta + \zeta = 180^0$, aber auch $\beta - \alpha + \delta + \zeta = 180^0$, daraus folgt $\delta = 2\alpha$, d. h. der Drehungswinkel des Bildes ist doppelt so gross als jener des Spiegels.

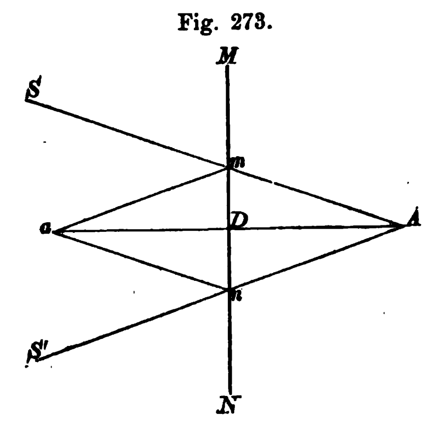
Fig. 272.



d) Ist der Gegenstand AB in Bewegung begriffen, so muss es auch sein Bild sein; bewegt sich jedoch der Beobachter, während der Gegenstand, dessen Bild er betrachtet, ruhig bleibt, so tritt nur eine scheinbare Bewegung

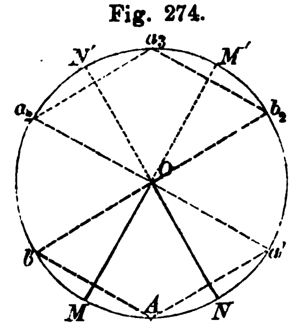
des Bildes auf, die daher rührt, dass die reflectirten das Bild im Auge erzeugenden Strahlen von andern und andern Punkten des Spiegels herkommen und das Bild gleichsam hinter dem Rahmen verschwindet, wenn die Stellung des Auges eine solche wird, dass kein reflectirter Strahl mehr in dasselbe gelangen kann.

Fig. 273.



e) Fallen Strahlen convergirend auf einen Spiegel *MN* (Fig. 273), so dass sie sich ohne Spiegel in *A* vereinigt hätten, und zieht man die Senkrechte $Aa = 2AD$, so erhält man ihren Vereinigungspunkt, d. i. das Bild vor dem Spiegel in *a*. So kann das Bild eines ganzen Gegenstandes vor dem Spiegel erscheinen, wie dies bei mehreren optischen Instrumenten vorkommt.

Fig. 274.

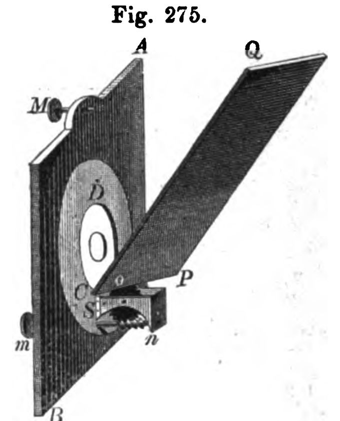


f) Kaleidoscop. Befindet sich ein Gegenstand zwischen zwei unter einem Winkel gegen einander geneigten Spiegeln, so erscheint eine regelmässige Combination von Bildern, die sämmtlich in der Peripherie des mit dem Abstande des Gegenstandes vom Durchschnittspunkte der Spiegel beschriebenen Kreises liegen. Ist (Fig. 274) *A* der Gegenstand, *MO* und *NO* zwei Spiegel, so erscheinen zunächst die Bilder a' und b', aber a' liegt wieder vor dem Spiegel *MO* und gibt ein zweites Bild a_2, so auch b_1 das Bild b_2 etc., so lange bis die letzten Bilder hinter die Spiegelflächen, wie z. B. a_3, fallen. Die symmetrischen Figuren im sogenannten Kaleidoscop entspringen aus solcher Winkelspiegelung.

§. 8. **Anwendung ebener Spiegel.** 1. Der Heliostat ist bestimmt, einen einfallenden Sonnenstrahl längere Zeit hindurch genau in derselben Richtung zu erhalten. Die durch eine Oeffnung im Fensterladen einfallenden und zu optischen Untersuchungen dienenden Sonnenstrahlen folgen der scheinbaren Bewegung der Sonne und ändern fortwährend ihre Richtung, aber in dieser veränderlichen Richtung kann man sie oft nicht verwenden, daher bedient man sich der Heliostaten zur Herstellung und Erhaltung einer bestimmten Richtung der Sonnenstrahlen. — In seiner einfachsten Gestalt besteht der Heliostat aus einer an der Oeffnung des

Fensterladens angeschraubten Messingplatte *AB* (Fig. 275), in der sich eine andere mit einer runden Oeffnung *O* zum Einlassen der Strahlen versehene Kreisscheibe *CD* mittelst einer Schraube leicht drehen lässt; dadurch dreht sich auch ein an *CD* befestigter Planspiegel *PQ*. Ausser der Drehung des Planspiegels um *O*, kann derselbe mittelst der Schraube ohne Ende *mn* in eine beliebige Neigung gegen die Platte *AB* gebracht werden. Durch diese doppelte Einstellung gibt man den darauf fallenden und durch *O* in das Zimmer hinein reflectirten Sonnenstrahlen die nöthige Richtung. Durch wiederholtes Nachdrehen beider Schrauben gelingt es, die Sonnenstrahlen in der gewünschten Richtung zu erhalten.

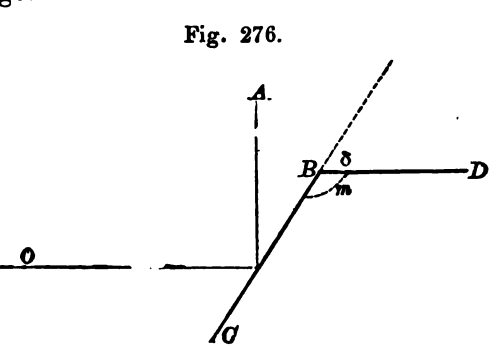
Fig. 275.



Das Fortrücken mit der Hand erscheint bei den sich selbst regulirenden Heliostaten durch ein Uhrwerk ersetzt. Am gebräuchlichsten ist der Silbermann'sche Heliostat mit einem Spiegel.

2. Das **Reflexionsgoniometer** dient zur Bestimmung der Neigungswinkel der ebenen Krystallflächen gegeneinander. Die spiegelnde Krystallfläche *BD* lässt sich durch Drehung um *B* (Fig. 276) in die Lage von *BC* bringen, alsdann erscheint dem Auge *O* das Bild des Gegenstandes *A* wieder genau in derselben Richtung wie jetzt in *BC*; wird der Drehungswinkel δ mittelst einer Kreiseintheilung, deren Mittelpunkt *B* ist, abgelesen, so ist der Neigungswinkel *m* bekannt. Daranf beruht z. B. das Wollaston'sche Goniometer.

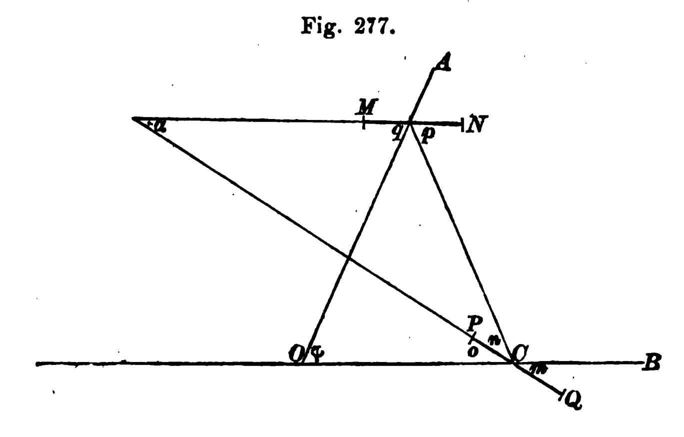
Fig. 276.



3. Des **Spiegelsextanten** bedient man sich, um den Winkel zu messen, welchen die von zwei entfernten Gegenständen zum Auge gezogenen Linien mit einander bilden. Es seien (Fig. 277) *A* und *B* die zwei Gegenstände *O* das Auge, φ der zu messende Winkel. Man bringt den Spiegel *MN*, der an einer Stelle durchsichtig gelassen ist, in eine solche Lage, dass man *A* sieht,

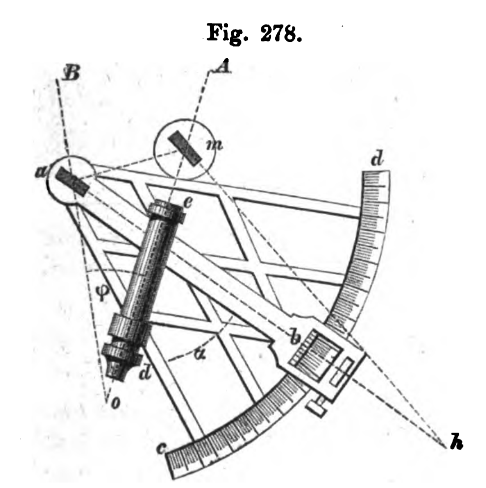
dreht den zweiten Spiegel PQ so lange um C, bis der Strahl BC so auf MN auffällt, dass er in der Richtung AO in das Auge gelangt, d h. bis sich beide Bilder z B. vom Mondrande und einem Fixsterne berühren. In diesem Falle

Fig. 277.



ist aber $\sphericalangle m = n = o$ und $p = q$. daher $2p = \varphi + 2n$ und $p = \alpha + n$, somit $\varphi = 2\alpha$, d. h. der Winkel der Visirlinien ist gleich dem doppelten Winkel, den die Richtungen der Spiegel mit einander bilden.

Fig. 278.

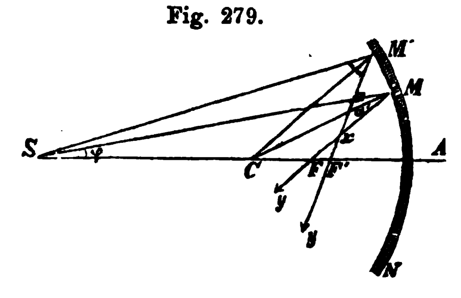


Darauf beruht der Spiegelsextant von Hadley (Fig. 278), mit dem man selbst auf einem bewegten Schiffe φ messen kann. Er besteht aus einem metallenen Kreissector; ist die Alhidade ab auf den Nullpunkt der Scala eingestellt, so ist der mit ihr bewegliche Spiegel a parallel mit dem fixen Spiegel m. Dreht man die Alhidade, so dreht sich der Spiegel a mit; fallen endlich die Bilder zusammen, so gibt der Drehungswinkel der Alhidade α an, wodurch man $\varphi = 2\alpha$ erhält.

§ 9. **Sphärische Hohlspiegel.** Jeder an der innern concaven Seite spiegelnde Abschnitt einer Hohlkugel heisst ein sphärischer Hohlspiegel. Der vom Centrum C der Hohlkugel (Fig. 279) zum Mittelpunkte A des Spiegels gezogene Halbmesser heisst die Axe des Hohlspiegels MN (Durchschnitt).

Um die Vereinigungsweite der Strahlen, d. i. die Lage des Bildes des Gegenstandes zu erhalten, betrachten wir zuerst die von Einem Punkte S auf den Hohlspiegel fallenden und daselbst reflectirten Strahlen. Der durch den Krümmungsmittelpunkt C gehende Hauptstrahl SA wird in der eigenen Richtung AS reflectirt; ein Nebenstrahl SM wird nach y reflectirt; diese Richtung erhält man, wenn man in M das Einfallsloth CM errichtet und einen Winkel $CMy = SMC$ aufträgt. In F findet die Vereinigung der Strahlen statt, also ist in F das Bild von S, und daher heisst AF die Vereinigungs- oder Bildweite, die wir ein für allemal mit α bezeichnen wollen. Aus der Geometrie ist bekannt, dass sich verhält:

Fig. 279.



$$SM : MF = SC : CF.$$

Setzt man die Entfernung des Gegenstandes $SA = a$, den Radius $CM = r$, so ist für jene Strahlen, die nahe am Mittelpunkte auffallen, nahezu

$$a : \alpha = a - r : r - \alpha,$$

daraus $$\alpha = \frac{ar}{2a - r} \text{ oder } \frac{1}{\alpha} = \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \ldots (1),$$

d. h. die Vereinigungsweite der nahe am Mittelpunkte auffallenden sogenannten Centralstrahlen ist vom Winkel φ, den die Strahlen mit der Axe bilden, unabhängig; und es ist der reciproke Werth der Bildweite gleich dem Unterschiede der reciproken Werthe des halben Krümmungshalbmessers und der Gegenstandsweite.

a) Sphärische Abweichung. Je mehr aber die Strahlen gegen den Rand hin auffallen und je weiter die Spiegelöffnung ist, desto mehr wird MF von α oder MF' abweichen, denn bei den Randstrahlen wächst der Einfalls-, mithin auch der Reflexionswinkel immer mehr, dadurch wird die Vereinigungsweite $AF' < AF$ und die Nebenstrahlen selbst schneiden sich in entsprechenden Punkten x. Diese Abweichung FF' der Vereinigungsweite der Rand- und Centralstrahlen wird sphärische Abweichung ge-

nannt. Zwischen F und x schneiden sich die von der Spiegelfläche MM' reflectirten Strahlen in einer continuirlichen Folge, wodurch sich eine hohle krumme Linie daselbst bildet, welche man Brennlinie oder kaustische Linie von S heisst.

Da sich nicht alle Strahlen wieder in einem Punkte vereinigen, so erscheint das Bild eines Punktes S nicht mehr als ein Punkt, sondern als ein kleiner Kreis und zwar wird der Rand desselben in F' heller sein als der in F, weil die Zahl der wie M' gelegenen Punkte grösser ist, als jene der Punkte M. Da nun ein ausgedehnter leuchtender Gegenstand als ein Aggregat von leuchtenden Punkten zu betrachten ist, so wird sein Bild als ein Aggregat von kleinen Kreisen, die sich theilweise decken, nicht mehr deutlich und in seinen Theilen scharf ausgeprägt erscheinen. Indessen ist zur Erzielung grosser Deutlichkeit schon hinreichend, dass sich die Bilder der einzelnen Punkte als sehr kleine Kreise darstellen, was dann stattfindet, wenn die Oeffnung des Hohlspiegels klein und der Krümmungshalbmesser gross ist.

b) Brennweite. Aus der Gleichung *(1)* ergibt sich für parallel auffallende Sonnenstrahlen $\frac{1}{a} = \frac{2}{r}$, da $a = \infty$, folglich $\frac{1}{a} = o$ gesetzt werden kann. Diesen speciellen Werth für $\alpha = \frac{r}{2}$ wollen wir immer mit p bezeichnen, so dass wir in diesem Falle haben

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} \text{ oder } \alpha = p,$$

d. h. parallele Strahlen vereinigen sich im Abstande $p = \frac{r}{2}$.

Weil die Sonnenstrahlen in ihrem Vereinigungspunkte, der in der Mitte des Krümmungshalbmessers liegt, eine sehr bedeutende Hitze erzeugen, so nennt man diesen Punkt den Brennpunkt (Focus) und seinen Abstand $p = \frac{r}{2}$ vom Spiegel die Brennweite (Focaldistanz).

Metalle können durch grosse Hohlspiegel geschmolzen, brennbare Körper entzündet und andere verflüchtigt werden.

Substituirt man die Brennweite p in die Gleichung *(1)*, so hat man

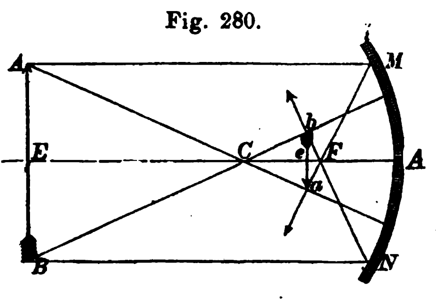
$$\frac{1}{a} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a} \ldots (2).$$

c) Ort des Bildes. Nun ist $p = \frac{r}{2}$ für einen und denselben Spiegel constant, folglich hängt die Bildweite nur von der Gegenstandsweite ab. Lässt man a allmälig abnehmen von $a = \infty$ bis $a = p$, so ersieht man, dass für $a > p$ die Bildweite positiv wird und beständig wächst, wenn a abnimmt, bis endlich für $a = p$, $\alpha = \infty$ wird, d. h. stellt man den leuchtenden Körper in den Brennpunkt, so werden die Strahlen parallel zu einander reflectirt. — Nähert sich der Gegenstand noch mehr, so dass $a < p$, so wird α negativ, d. h. befindet sich der Gegenstand innerhalb der Brennweite, so findet keine wirkliche Vereinigung der Strahlen statt, aber sie werden so reflectirt, als kämen sie von einem Vereinigungsorte hinter der Spiegelfläche her, wo man das Bild sieht; daher nennt man dieses Bild ein geometrisches.

Fallen die Strahlen convergirend auf den Hohlspiegel auf, so dass sie ohne Spiegel in einem Punkte hinter diesem Spiegel sich vereinigen würden, so ist a negativ zu nehmen und man hat $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} + \frac{1}{a}$, somit ist α immer positiv und $\alpha < a$, d. h. die Strahlen vereinigen sich nach der Reflexion vor dem Spiegel und näher als ohne Reflexion.

d) Um die Lage und Grösse des Bildes im Verhältnisse zu der des Gegenstandes zu finden, suchen wir das Bild eines vor dem Krümmungs-Mittelpunkte C befindlichen Gegenstandes AB (Fig. 280). — Das Bild wird leicht gefunden, wenn man von den Endpunkten A und B die durch den Mittelpunkt C gehenden Hauptstrahlen und die parallelen Strahlen AM und BN zieht, die Durchschnittspunkte der Strahlen nach der Reflexion sucht und mit einander verbindet. Das Bild ist umgekehrt, da sich die von A kommenden Strahlen in a auf der entgegengesetzten Seite der Axe vereinigen. — Aus $\triangle ABC \sim \triangle abC$ folgt

Fig. 280.



$$\frac{ab}{AB} = \frac{Ce}{CE} = \frac{r - \alpha}{a - r},$$

aber nach der Gleichung *(2)* ist

$$\alpha = \frac{ap}{a-p},$$

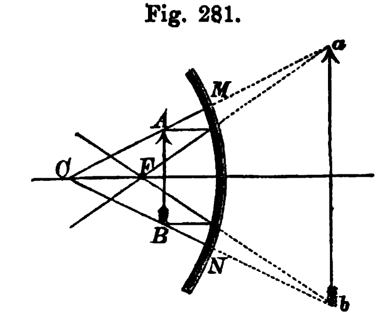
daher

$$\frac{ab}{AB} = \frac{p}{a-p} \ldots (3),$$

d. h. es wird $ab < AB$, so lange $a > 2p$; $ab = AB$, wenn $a = 2p$; und $ab > AB$, wenn $a < 2p$; in allen diesen Fällen ist α positiv, mithin das Bild vor dem Spiegel.

Für den Fall $a < p$ erscheint das Bild hinter der Spiegelfläche und es ist $\alpha = -\frac{ap}{p-a}$, mithin $\frac{ab}{AB} = -\frac{p}{a-p}$, folglich $ab > AB$, und zwar in aufrechter Stellung, wie Fig. 281 zeigt, da sich die vorn divergirenden nach rückwärts verlängerten Strahlen ohne die Axe zu schneiden vereinigen.

Fig. 281.



e) So wie bei sphärischen, befolgen die Lichtstrahlen auch bei parabolischen und elliptischen Hohlspiegeln die Reflexionsgesetze des Schalles. Bringt man daher einen leuchtenden Körper in den Brennpunkt eines parabolischen Spiegels, so werden seine Strahlen parallel mit der Axe reflectirt. — Die wichtigste Anwendung macht man von den Hohlspiegeln auf Leuchtthürmen, wo sie die von einer in ihrem Brennpunkte befindlichen intensiven Lichtquelle auffallenden Strahlen zumeist in der Richtung der Axe reflectiren; dadurch vermögen die Strahlen noch in bedeutenden Entfernungen den Lichteindruck zu erzeugen. — Hohlspiegel dienen auch als Beleuchtungsspiegel bei Microscopen und zur Construction gewisser Fernröhre etc.

§. 10. **Sphärische Convexspiegel.** Wird die äussere convexe Seite eines Kugelabschnittes polirt, so erhält man einen Convexspiegel. — Während beim Hohlspiegel der leuchtende Gegenstand und der Krümmungsmittelpunkt auf derselben Seite der spiegelnden Fläche gelegen waren, hat hier der Krümmungsmittelpunkt die gerade entgegengesetzte Lage, wie Fig. 282 zeigt; daher erhält man aus der Gleichung *(1)* oder *(2)*, wenn man darin den Krümmungs-Halbmesser negativ setzt, unmittelbar das Gesetz für Convexspiegel

$$\frac{1}{\alpha} = -\left(\frac{1}{p} + \frac{1}{a}\right) \ldots (4).$$

Für $a = \infty$, d. i. für parallel auffallende Strahlen ist hier

$$\alpha = -p = -\frac{r}{2},$$

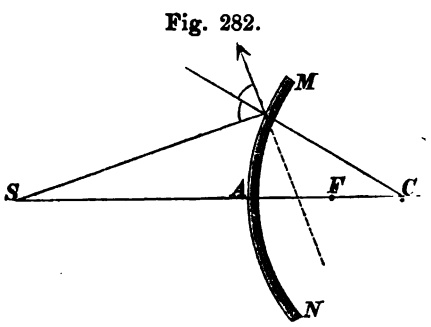
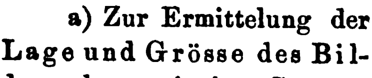


Fig. 282.

d. h. der Brennpunkt liegt im halben Krümmungs-Halbmesser hinter der Spiegelfläche, daher die Brennweite hier eine imaginäre genannt wird. Je kleiner a wird, desto kleiner wird auch α, daher ist p die grösste Vereinigungsweite.



a) Zur Ermittelung der Lage und Grösse des Bildes nehmen wir einen Gegenstand AB vor dem Spiegel (Fig. 283) und suchen auf schon angegebene Weise sein Bild ab. Das Bild erscheint in aufrechter Lage und verkleinert, denn es ist

$$\frac{ab}{AB} = \frac{eC}{EC} = \frac{r - \alpha}{a + r} = \frac{p}{a + p}.$$

b) Fallen die Lichtstrahlen convergirend auf, so ist a negativ zu setzen und ist dabei auch noch $a < p$, so erscheint das Bild vergrössert, denn es ist dann

$$\frac{ab}{AB} = \frac{p}{-a + p} = + \frac{p}{p - a}.$$

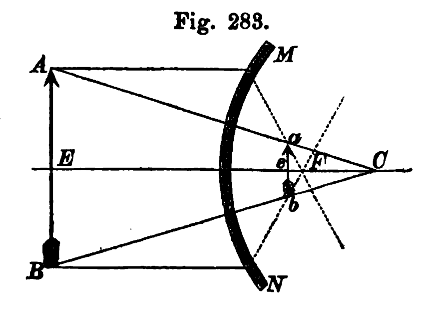


Fig. 283.

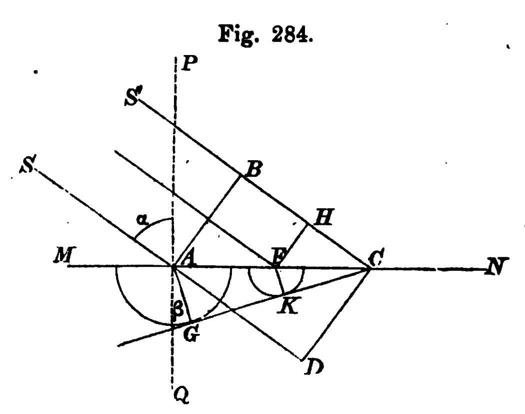
Man bedient sich der Convexspiegel zum Abzeichnen von Landschaften, die man im verkleinerten Maassstabe haben will, dann in Form von spiegelnden Kugeln zur Verschönerung der Gartenanlagen, um darin gleichsam concentrirt die Umgebung zu sehen. — Cylinder- und Kegelspiegel zeigen die Gegenstände verzerrt, da sie die Bilder nach der Krümmung verkleinern. Aber ein verzerrtes Bild, katoptrische Anamorphose, kann darin in den richtigen Verhältnissen erscheinen.

§. 11. Gesetze der einfachen Brechung des Lichtes. Die Ablenkung eines Lichtstrahles von seiner Richtung, welche er bei

dem Uebergange aus einem Mittel in ein anderes erleidet, nennt man **Brechung.**

Von dem auf die Trennungsfläche auffallenden Lichte wird **ein Theil** reflectirt, der andere aber dringt in das neue Medium ein, findet dort eine andere specifische Elasticität des Aethers, deswegen pflanzen sich die Lichtwellen nach dem Uebergange durch die Trennungsfläche mit einer andern Geschwindigkeit fort. Und die Aenderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit hat jedesmal eine Brechung zur Folge. Denn sei AB (Fig. 284) eine auf die Trennungsfläche MN in A auffallende Planwelle und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit über MN, d. i. im alten Medium V, die im neuen unter MN aber v, und ist t die Zeit, in welcher der Weg $BC = Vt$ zurückgelegt wird, so hat der von A in das neue Medium eintretende Lichtstrahl SA erst einen Weg $x = vt$ zurückgelegt. — Denkt man sich zuerst SA im neuen Medium ungehindert fortgehend, so würde er in t den Weg $AD = BC$ zurücklegen. Beschreibt man $x < AD$, wenn $v < V$ ist, eine in der Zeichnung als Kreis sich darstellende Kugeloberfläche, zieht aus C die tangirende Ebene CG zu dieser Kugeloberfläche und verbindet den Berührungspunkt G mit A, so ist $AG = x = vt$.

Fig. 284.



Nun ist $x : BC = v : V$, also $x = \frac{v}{V} \cdot BC$.

Der im Punkte F eintretende Strahl muss nach demselben Gesetze einen Weg $y = \frac{v}{V} \cdot HC$ zurückgelegt haben. Darauf folgt

$x : y = BC : HC$, und aus der Figur

$BC : HC = AC : FC$; zieht man von F die Senkrechte FK auf CG, so hat man

$AC : FC = AG : FK$, mithin

$x : y = AG : FK$, es ist aber $x = AG$, also $y = FK$,

d. h. die von irgend einem Punkte F der Trennungsfläche ausgegangene Elementarwelle hat sich gerade bis zur Ebene CG fortgepflanzt, mithin tangirt die Ebene CG sämmtliche in das neue Medium eingetretenen Elementarwellen und erscheint daher als die aus der Brechung hervorgegangene resultirende Planwelle. — Ist aber CG die gebrochene Planwelle, so geben sämmtliche darauf Senkrechte, wie AG, die Richtungen der gebrochenen Strahlen an.

Zieht man in A das Einfallsloth PQ, so sieht man, dass sich der Strahl SA von seiner Richtung zu PQ geneigt hat, und man sagt: der Strahl ist zum Einfallslothe gebrochen. Betrachtet man aber den Strahl GA als den auffallenden, so wird er in der Richtung AS, d. i. vom Einfallslothe gebrochen. — Wir ziehen also den Schluss: Ein Lichtstrahl wird bei seinem Uebergange in ein Medium, das für Licht eine geringere Fortpflanzungsgeschwindigkeit hat, zum Einfallslothe gebrochen, vom Einfallslothe aber in einem Medium, worin sich das Licht mit grösserer Geschwindigkeit fortpflanzt als im alten. Da sich das Licht gewöhnlich in dichteren Körpern, z. B. im Glase und Wasser, langsamer fortpflanzt als in weniger dichten, so kann man auch sagen: beim Uebergange in ein dichteres Medium findet die Brechung zum Einfallslothe, in ein dünneres aber vom Einfallslothe statt.

Bezeichnet man den Einfallswinkel SAP mit α und den Brechungswinkel GAQ mit β, so ergibt sich aus der Figur

$$AD = AC \sin \alpha, \text{ und } AG = AC \sin \beta,$$

mithin ist

$$\frac{AD}{AG} = \frac{V}{v} = \frac{\sin . \alpha}{\sin . \beta} \dots (1).$$

Die constante Grösse $\frac{V}{v} = n$ nennt man den Brechungs-Exponenten der zwei betreffenden Medien. Das in der Gleichung (1) enthaltene Hauptgesetz der Brechung heisst:

Der Sinus eines beliebigen Einfallswinkels dividirt durch den Sinus des dazu gehörigen Brechungswinkels ist gleich dem constanten Brechungs-Exponenten. — Ferner lehren die Versuche, dass der gebrochene und einfallende Strahl in einer und derselben Ebene liegen.

Der Brechungsexponent für den Uebergang von der Luft in das Glas ist $n = \frac{3}{2}$, von der Luft in das Wasser aber $n = \frac{4}{3}$. — Dieses Gesetz kann man mittelst eines Apparates prüfen, an welchem man den Einfallswinkel und den Brechungswinkel im Wasser messen kann.

Beim senkrechten Auffallen ist $\alpha = o$, folglich $o = n \cdot \sin\beta$, d. h. β ist auch $= o$, weil n nicht Null sein kann, d. h. ein senkrecht auffallender Strahl erleidet keine Brechung.

a) Totale Reflexion. Für den umgekehrten Uebergang des Strahles ist β der Einfalls- und α der Brechungswinckel, folglich

$$\frac{\sin\beta}{\sin\alpha} = \frac{v}{V} = \frac{1}{n}.$$

Aus dem Ausdrucke $\sin\beta = \frac{\sin\alpha}{n}$ ist zu ersehen, dass der Brechungswinkel β am grössten ist, wenn $\alpha = 90^0$ wird, dieser grösste Werth ist $\sin\beta = \frac{1}{n}$.

Bei dem umgekehrten Uebergang aus einem dichteren in ein minder dichtes Medium, ist aber $\frac{\sin\beta}{\sin\alpha} = \frac{1}{n}$.

Für $\sin\beta = \frac{1}{n}$ wird $\sin\alpha = 1$, d. i. $\alpha = 90^0$, oder der gebrochene Strahl geht parallel mit der Trennungsfläche fort. — Der Einfallswinkel β kann aber noch grösser werden, so dass $\sin\beta > \frac{1}{n}$ wird, dann müsste aber $\sin\alpha > 1$ sein, was unmöglich ist, d. h. es tritt in diesem Falle kein Lichtstrahl in das neue weniger dichte Medium ein. Die Erfahrung aber zeigt, dass in diesem Falle der reflectirte Antheil des auffallenden Lichtes stärker erscheint, und daher glaubte man, dass alles Licht reflectirt wird und nannte diese Erscheinung totale Reflexion. Diesen Vorgang kann man in einem mit Wasser gefüllten Glasgefässe AB (Fig. 285) beobachten, wenn man mittelst eines Planspiegels P Sonnenlicht in einem verfinsterten Zimmer sehr schief gegen die Oberfläche des Wassers leitet. Hat man dem Was-

ser Kreidepulver beigemengt, so zeigen die erleuchteten Kreidetheilchen den Weg des Lichtes an.

Wenn im Glase der Einfallswinkel $\beta > 41^0$ ist, so tritt der Lichtstrahl nicht mehr durch die Glasfläche in die Luft aus, sondern wird ganz reflectirt, und diese innere Glasfläche dient wie ein Spiegel. — Darauf beruht die Einrichtung des Glaskörpers der Camera lucida von Wollaston.

Fig. 285.

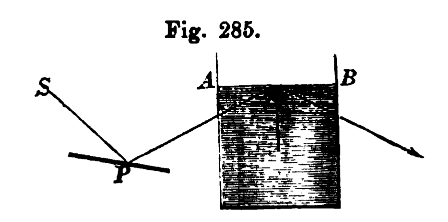
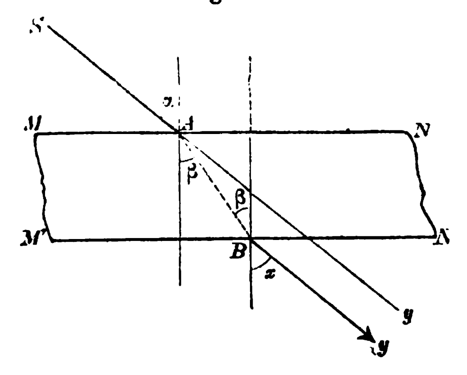


Fig. 286.



b) Dringt das Licht durch ein von parallelen Flächen begrenztes Medium, z. B. durch eine ebene Glasscheibe, und gelangt es nach dem Austritte wieder in das alte Medium, so ändert sich die Richtung der Lichtstrahlen nicht. Denn sei (Fig. 286) ein durchsichtiger, von zwei parallelen Flächen MN und $M'N'$ begrenzter Körper, so ist für den Uebergang durch MN

$$\frac{\sin a}{\sin \beta} = n;$$

nun ist aber β zugleich der Einfallswinkel an $M'N'$, also

$$\frac{\sin \beta}{\sin x} = \frac{1}{n}.$$

Aus den beiden Gleichungen folgt $\sphericalangle a = \sphericalangle x$, d. h. der austretende Strahl By' hat die Richtung des auffallenden SA.

Daher erscheinen uns durch genau ebene Gläser die Gegenstände, wie sie wirklich sind; durch unebene Gläser hingegen aber verzerrt.

c) Aus der Brechung des Lichtes erklären sich ferner: die scheinbar höhere Lage der Gegenstände unter dem Wasser, die Luftspiegelung, die astronomische Strahlenbrechung etc. — Bezüglich der Erscheinung der unter dem Wasser befindlichen Gegenstände bemerken wir nur, dass ein schief in's Wasser gehaltener Stab gebrochen erscheint, so dass der unter dem Wasser liegende Theil näher an der Oberfläche gesehen wird. Die Ursache liegt darin,

dass die vom untergetauchten Theile in's Auge gelangenden Strahlen vom Einfallslothe gebrochen sind, weshalb auch jener Theil des Stockes vom Einfallslothe abgelenkt, daher der Oberfläche näher zu liegen scheint.

Die Luftspiegelung entsteht auf eine zweifache Art, entweder dadurch, dass die über einem erhitzten Boden liegenden Luftschichten von oben nach unten an Dichte abnehmen, wobei die aus den obern in die untern Schichten kommenden Strahlen immer mehr vom Einfallslothe gebrochen, endlich ganz nach oben reflectirt werden und in dem Auge eines Beobachters den Eindruck des Gegenstandes, von dem sie kommen, veranlassen; oder dadurch, dass die Dichte der über einem kalten Boden befindlichen Luftschichten nach oben schnell abnimmt; dann tritt das Umgekehrte ein, die Strahlen, welche zuerst in die Höhe gehen, werden endlich total reflectirt und so zur Erde zurück gelangend bringen sie im Auge den Eindruck des Gegenstandes hervor. Die erste Art der Luftspiegelung ist über dem erhitzten Sandboden Afrikas und in den Theissgegenden Ungarns häufig, wird vorzugsweise F a t a M o r g a n a genannt; sie bringt die Täuschung mit sich, dass man vor sich einen See und in ihm die Gegenstände seiner Umgebung zu sehen glaubt. Die zweite Art, vorzugsweise L u f t s p i e g e l u n g genannt, beschränkt sich mehr auf die kältern nördlichen Gegenden, dort sieht man oft das verkehrte Bild eines Schiffes über dem wirklichen Schiffe in der Luft schwebend. Die Luftspiegelung ruft besonders in England, wo die Feuchtigkeit die Brechung noch unterstüzt, die merkwürdige Erscheinung hervor, dass man Gegenstände, die hinter Bergen liegen, in Folge der nach oben convexen Bahn der Lichtstrahlen zu sehen bekommt. Auf dieselbe Weise geschieht es, dass die Sonne noch sichtbar ist, wenn sie schon unter unseren Horizont gesunken ist.

Ein von irgend einem ausser dem Zenithe befindlichen Sterne ausgehender Lichtstrahl wird bei seinem Durchgange durch die Atmosphäre immer mehr zum Einfallslothe gebrochen und erscheint deshalb dem Auge näher am Zenithe als er ist. (Vergleiche die Figur in §. 11, Meteorologie.) — Der Einfluss der Strahlenbrechung in der Atmosphäre macht sich schon bei dem von hohen Bergen ausgehenden Lichte geltend, und darf bei geometrischen Höhenmessungen nicht unberücksichtigt bleiben.

Hat man die Höhe eines Sternes im Bogenmaasse gemessen, so muss von derselben stets der Betrag der Refraction abgezogen werden. Es bestehen durch Erfahrung angefertigte Refractionstabellen. Da aber der Betrag der Strahlenbrechung für Höhen unter 30° nicht genau bestimmt werden kann (wegen des wechselnden Zustandes der Atmosphäre), so ist der Stand der Himmelskörper unter der Höhe von 30° zu genauen Beobachtungen nicht geeignet. Am Horizonte beträgt die Refraction etwa 33°, also ungefähr so viel als der Durchmesser von Sonne oder Mond.

§. 12. **Die Brechung des Lichtes durch Prismen.** 1. In optischem Sinne nennt man P r i s m a jeden durchsichtigen von gegenseitig geneigten Ebenen begrenzten Körper. Gewöhnlich hat man ein d r e i s e i t i g e s Prisma, dessen Durchschnitt ein

gleichschenkliges Dreieck ist (Fig. 287). Den Winkel φ, welchen die zwei Ebenen, durch die ein Lichtstrahl hindurchgeht, bilden, nennt man den brechenden Winkel des Prisma. Ist S der in M auffallende Strahl, LM das Einfallsloth, so ist α der Einfalls-, β der Brechungswinkel an der ersten Trennungsfläche AC, δ und σ an der zweiten Fläche BC; der Strahl tritt in der Richtung Ny aus dem Prisma und bildet mit der ursprünglichen Richtung SX den Winkel $XDy = d$, den man die Ablenkung oder Deviation des Strahles nennt.

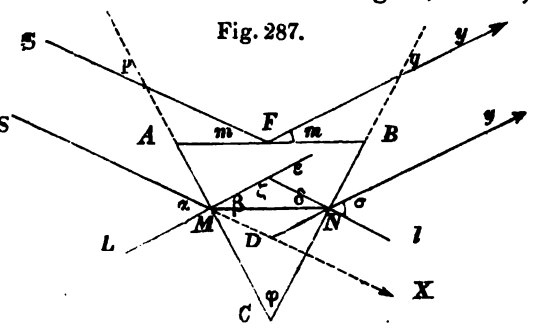


Fig. 287.

Um die Ablenkung d zu finden, bedenken wir, dass d ein äusserer Winkel des Dreieckes DMN ist, also

$$d = \alpha - \beta + \sigma - \delta = \alpha + \sigma - (\beta + \delta);$$

aber es ist $$\varphi = \varepsilon = \beta + \delta,$$

mithin $$d = \alpha + \sigma - \varphi \ldots (1).$$

a) Minimum der Ablenkung. Die Erfahrung lehrt, das die Ablenkung am kleinsten ist, wenn das Prisma zum einfallenden Strahle eine solche Neigung hat, dass das Bild des gebrochenen Strahles y mit dem Bilde y' eines mit SM parallelen an der Hinterfläche des gleichseitigen Prisma ABC reflectirten Strahles SF an einer entfernteu Wand zusammenfällt. Für diesen Fall ist aber $\sphericalangle\, p = q$, folglich $\alpha = \sigma$, also auch $\beta = \delta$, da Fy parallel ist mit Ny. Daher hat die kleinste Ablenkung den Werth

$$D = 2\alpha - \varphi \ldots (2), \text{ wobei } \varphi = 2\beta \text{ ist.}$$

b) Wird der brechende Winkel des Prisma grösser, so wird die Ablenkung grösser, denn es geschieht dasselbe, als wenn man den bereits austretenden Strahl noch durch ein zweites Prisma gehen liesse, dessen Brechungswinkel der Zuwachs von φ wäre. Und aus $\varphi = \beta + \delta$ sieht man, dass δ um so viel wachsen muss als φ, aber es ist $\sin \sigma = n \sin \delta$, folglich wächst der Austrittswinkel σ und mit ihm die Ablenkung in einem viel stärkeren Verhältnisse als φ.

§. 13. **Farbenzerstreuung.** Der gebrochene Strahl kommt, wenn weisses Licht auffällt, nicht als ein einfacher Strahl aus dem Prisma, sondern als ein Bündel divergirender farbiger Strahlen. Man sagt, das weisse Sonnenlicht werde bei der Brechung in verschiedenfarbige Theile zerlegt und nennt diese Zerlegung Farbenzerstreuung.

Leitet man durch eine kleine Oeffnung im Fensterladen Sonnenstrahlen in ein verfinstertes Zimmer, so erscheint an der gegenüber stehenden Wand oder an einem vorgehaltenen Schirme ein weisses rundes Sonnenbild; lässt man aber das Sonnenlicht durch ein horizontal liegendes Prisma (Fig. 288) gehen, dessen brechender Winkel nach unten gerichtet und die Axe zum Fensterladen parallel ist, so wird das Sonnenbild nicht nur verschoben, sondern auch in der verticalen Richtung verlängert und farbig erscheinen, unten und oben von Halbkreisen, an der Seite aber von parallelen Linien begrenzt. Man nennt dieses Bild das prismatische Farbenbild oder Spectrum.

Fig. 288.

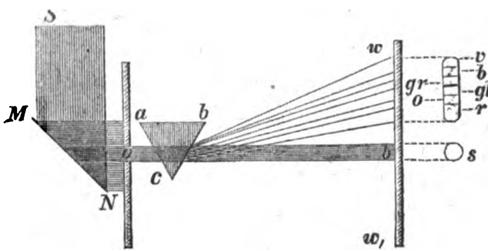
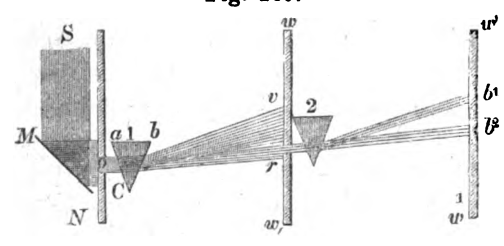


Fig. 289.



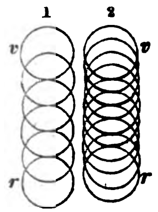
Aus was immer für einem Stoffe das Prisma bestehen mag, so sind die allmälig in einander übergehenden Hauptfarben stets in folgender Ordnung gereiht: zu unterst roth, dann orange, gelb, grün, blau und oben violett. — Die verschiedenfarbigen Strahlen besitzen also verschiedene Brechbarkeit, und zwar ist violettes Licht am brechbarsten, rothes aber am wenigsten brechbar.

Durch eine abermalige Brechung können die Strahlen einer bestimmten Farbe nicht mehr in verschiedenfarbige Farben zerlegt werden, d. h. nicht weiter zerstreut werden; sie werden dabei nur abgelenkt, wie dies die Fig. 289 vorstellen mag. Man nennt

solches Licht, welches durch **Brechung** nicht mehr in farbige Bestandtheile zerlegt werden kann, **homogenes** oder gleichartiges Licht.

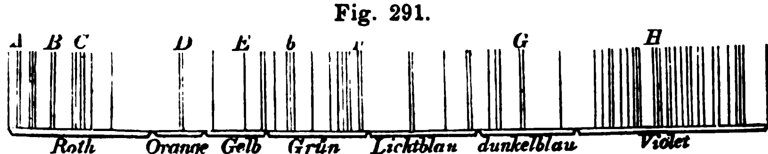
Die Begrenzung des Spectrums wird man begreifen, wenn man das weisse Licht, bevor es im Prisma gebrochen wird, durch ein Glas oder eine Flüssigkeit leitet, die nur eine Farbengattung durchlässt; denn jetzt erscheint auf einem weissen Schirme ein kreisrundes Sonnenbild von der Farbe der durchgelassenen Strahlen. Daraus schliessen wir, dass Strahlen derselben Brechbarkeit ein kreisrundes Bild geben, und dass bei der allmäligen Zunahme an Brechbarkeit die Kreise immer mehr abgelenkt und so an einander gereiht werden, wie Fig. 290 zeigt. Man ersieht daraus, dass die Lichtstrahlen, die von einem Punkte des Spectrums in unser Auge kommen, nicht von der nämlichen Brechbarkeit sind, d. h. das Spectrum ist nicht ganz **homogen**. Diese Ungleichartigkeit des Spectrums nimmt mit der Grösse der Oeffnung im Fensterladen noch zu. Man erhält aber ein homogenes Farbenbild, wenn man die von einer engen Oeffnung im Fensterladen kommenden Strahlen durch ein reines Prisma auf eine Vorrichtung leitet, welche die Strahlen derselben Brechbarkeit für sich vereinigt. Als eine solche Vorrichtung werden wir eine achromatische Sammellinse kennen lernen.

Fig. 290.



§. 14. **Fraunhofer'sche Linien.** An einem homogenen Spectrum nimmt man die merkwürdige Eigenschaft wahr, dass es von unzählig vielen dunklen und mehreren völlig schwarzen Linien senkrecht gegen seine Längsrichtung durchschnitten ist. Diese dunklen Linien heissen nach ihrem Entdecker (1820) die **Fraunhofer'schen** Linien (Fig. 291). Wir schliessen daraus, dass dem Sonnenlichte Strahlen von gewisser Brechbarkeit fehlen.

Fig. 291.



Die Wirkung der Strahlen des Sonnenspectrums ist nicht in allen Theilen dieselbe: Die Lichtintensität wächst vom rothen Ende an sehr schnell, ist zwischen D und E am grössten und nimmt von E gegen das andere Ende sehr schnell ab; dafür fängt von E an die chemische Wirkung des Spectrums zu wachsen und ist am grössten am violetten Ende, erstreckt sich aber darüber hinaus; während die Intensität der Wärmewirkung von F an

gegen das rothe Ende zu wächst und ausserhalb des rothen Endes am grössten wird.

a) Complementäre Farben. Der Beweis, dass das weisse Licht eine Mischung der allmäligen Abstufungen von Farbentönen ist, kann auch umgekehrt durch die Zusammensetzung der prismatischen Farben zu Weiss geliefert werden. Sieht man durch ein Prisma das Farbenspectrum eines zweiten, umgekehrt gestellten, aber gleich zerstreuenden Prisma an, so sieht man wieder weisses Licht. Zu diesem Zwecke dient das sogenannte Doppelprisma (Fig. 292). — Diese Zusammensetzung zu Weiss lässt sich auch mit dem sogenannten Farbenkreisel (Fig. 293) zeigen. Lässt man dagegen eine Uebergangsfarbe des Spectrums aus, so erscheint bei der Rotation eine Mischungsfarbe, eine Ergänzungs- oder Complementärfarbe, so genannt, weil sie mit der fehlenden weiss gibt. Complementäre Farben sind roth und grün, orange und blau, gelb und violett.

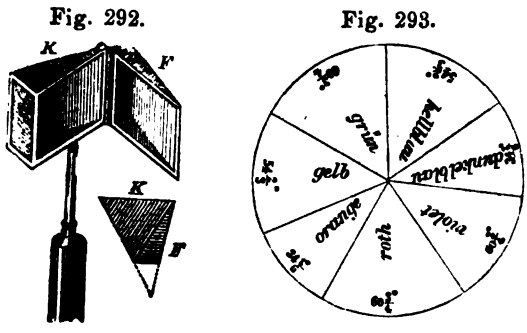


Fig. 292. Fig. 293.

b) Natürliche Farben. Eine weisse Fläche erscheint immer in der Farbe des darauf fallenden Lichtes; im rothen erscheint sie roth, im blauen blau etc. Daraus darf gefolgert werden, dass die natürlichen Farben der Körper meistens daher rühren, dass sie die verschiedenen Lichtsorten nicht gleich gut zurückwerfen, wodurch eine Mischungsfarbe, in der uns der Körper erscheint, hervorgerufen wird. Diese Folgerung wird durch die Thatsache bestätigt, dass an einem gefärbten Schirme vorzugsweise jene Farbe des auf ihn projectirten Spectrums hervortritt, welche der des Schirmes entspricht. So erscheint rothes Papier im rothen Theile des Spectrums noch röther, es wird aber fast vollkommen schwarz im Dunkelblau oder Violett. Dieses wird auch dadurch bestätigt, dass wenn weisses Tageslicht von einem rothen Schirme gegen eine weisse Wand reflectirt wird, die Wand nicht weiss, sondern roth beleuchtet erscheint. Bei der Absorption des Lichtes wird gezeigt werden, dass die Reflexion nicht der alleinige Grund der natürlichen Farbe ist.

§. 15. **Spectralanalyse.** Kirchhoff und Bunsen haben im Jahre 1860 eine früher bekannte Erscheinung, dass die Grundstoffe, in eine Flamme gebracht und glühend gemacht, eigenthüm-

liche farbige Linien in ihrem Lichtspectrum zeigen, mit einem von ihnen erfundenen Spectral-Apparat genau untersucht.

a) Ein continuirliches Spectrum ohne Linien gibt das electrische Licht der weissglühenden Kohlenspitzen oder ein weissglühender Platindraht. Und ein ähnliches Spectrum geben alle andern weissglühendon festen Körper.

b) Farbige Spectrallinien der Grundstoffe. Verflüchtigt man ein Metall durch intensive Hitze, so gibt es nicht mehr das continuirliche Spectrum des weissglühenden festen Körpers, sondern das Spectrum des weissglühenden Dampfes; und dieses enthält nur gewisse glänzende farbige Linien, während der übrige Theil des Spectrums dunkel bleibt.

Bei der Zerlegung der Natronflamme mittelst des Prisma zeigen sich statt des vollkommenen Spectrums nur zwei helle gelbe Linien, welche genau auf die Stelle der Fraunhofer'schen Doppellinie D im Spectrum fallen. Alle übrigen Stellen des vom Sonnenspectrum eingenommenen Raumes bleiben dunkel. Lithium zeigt nur eine rothe Linie zwischen B und C und eine gelbe nahe vor D.

Am wichtigsten ist aber die Entdeckung von Bunsen und Kirchhoff, dass auch die verschiedenen Salze desselben Metalles, wenn sie flüchtig sind, die Spectrallinie des Metalles erzeugen. Kennt man also die Spectra der einzelnen Elemente, so kann man aus dem Spectrum eines zusammengesetzten Stoffes auf seine Bestandtheile schliessen. Hierauf beruht ein neues höchst wichtiges Hilfsmittel der Chemie, die Spectralanalyse. Mit der Spectralanalyse ist das Vorhandensein eines Stoffes bei äusserst geringer Masse desselben nachweisbar. So zeigt der zwanzigmillionste Theil eines Milligrammes Natron noch immer die gelbe Doppellinie.

Mittelst der Spectralanalyse entdeckte Bunsen in der Soole von gewissen Mineralwässern zwei neue Elemente, Caesium und Rubidium.

c) Die dunklen Fraunhofer'schen Linien erklären sich durch die Umkehrung der Flammenspectra. In dem Spectrum des Drummond'schen Kalklichtes, so wie in den Spectren der glühenden festen und flüssigen Körper zeigen sich keine solchen Linien. Bringt man aber während der Betrachtung eines conti-

nuirlichen Spectrums eine mit Kochsalz gelb gefärbte schwache Weingeistflamme, also eine Natriumflamme, dazwischen und betrachtet das Spectrum nach dem Hindurchgang, so erscheint an der Stelle der Fraunhofer'schen Doppellinie D eine dunkle Doppellinie. — Man schliesst daraus übereinstimmend mit der Absorptionstheorie von Kirchhoff, dass eine schwache Natriumflamme Strahlen von derselben Wellenlänge und Brechbarkeit, wie sie solche selbst aussendet, im durchgehenden Lichte absorbirt.

Kirchhoff hat auch entdeckt, dass eine grosse Anzahl der dunklen Linien des Sonnenspectrums mit den hellen Linien der Metalldämpfe zusammenfällt. Daraus ist zu schliessen, dass bestimmte Grundstoffe der Erde auch auf der Sonne vorhanden sind, wie z.B. Eisen, Calcium, Natrium, Magnesium etc. — Kirchhoff nimmt an, dass der Kern der Sonne ein glühender Körper ist, welchen eine schwächer leuchtende Gasatmosphäre umgibt. Indem das Sonnenlicht ihrer festen Stoffe durch die Gase derselben Stoffe hindurchgeht, werden die hellen Linien in die dunklen Fraunhofer'schen verwandelt.

d) Die Farbenzerstreuung ist von der Brechung unabhängig und befolgt andere Gesetze. Wird ein bestimmter Strahl durch ein Crown- und Flintglasprisma gleich stark gebrochen, so ist doch die Farbenzerstreuung im Flintglase grösser als im Crownglas. — Der Ablenkungsunterschied zwischen den äussersten violetten und rothen Strahlen gibt die Grösse der Farbenzerstreuung an. Ist bei einem Körper Nr der Brechungsexponent für den rothen, Nv jener für den violetten und Ng für den gelben Strahl, so nennt man $Nv - Nr$ das Maass der Farbenzerstreuung und $\frac{Nv - Nr}{Ng - 1}$ das Farbenzerstreuugsvermögen des Körpers.

e) Die Farben des Spectrums sind dieselben wie die des Regenbogens und in derselben Anordnung, woraus wir mit Recht schliessen, dass der Regenbogen auf der Farbenzerstreuung des Sonnenlichtes beruht. Ein Beobachter sieht nur dann einen Regenbogen, wenn eine vor ihm befindliche Regenwolke von der hinter ihm in einer bestimmten Höhe befindlichen Sonne beleuchtet wird. Die Sonnenstrahlen werden in den Regentropfen zu dem Beobachter reflectirt und zugleich gebrochen und zerstreut. Ein den Tropfen oben treffender Strahl wird an der Hinterfläche reflectirt, an der untern Fläche zu uns gebrochen und zwar so, dass die rothen am wenigsten, die violetten am meisten nach oben hin abgelenkt werden, weshalb der oberste Rand des Regenbogens roth, der unterste violett erscheint. — Es kann aber auch ein auf die untere Hälfte des Tropfens fallender Strahl nach zweimaliger Reflexion

und Brechung zum Auge des Beobachters kommen, wo er dann den Nebenregenbogen in umgekehrter Folge der Farben sieht.

§. 16. **Fluorescenz.** Die Eigenschaft mancher Körper, Licht zu reflectiren oder durchzulassen, dessen Farbe von der des auffallenden Lichtes verschieden ist, nennt man Fluorescenz.

Leicht wahrnehmbar ist die Erscheinung der Fluorescenz in einer wässerigen Lösung von schwefelsaurem Chinin, der man einige Tropfen Schwefelsäure zugibt. Um die Erscheinung zu beobachten, kann man diese Lösung in dünnen weissen Gläsern blos gegen das Fenster halten, oder aber das Sonnenlicht durch eine Sammellinse von einigen Zoll Brennweite darauf leiten, so dass der Lichtkegel dann innerhalb der Flüssigkeit erscheint. In der schwefelsauren Chininlösung erscheint der Kegel hellblau, in dem alkoholischen Extracte von Stechapfelsamen grünlich, in der gelben Curcumatinctur grün, in dem bräunlichen Extracte der Rosskastanienrinde in Folge des darin vorkommenden Aesculins hellblau, im Uran oder Annaglas grün.

a) Verlängertes Farbenspectrum. Lässt man das durch ein Flintglas- oder besser noch durch ein Bergkrystallprisma erzeugte Sonnenspectrum auf einen mit schwefelsaurem Chinin gefüllten Glastrog von parallelen Wänden fallen, so bemerkt man im brechbareren Theile des Spectrums von Blau an die Fluorescenz. Die Farben des Spectrums sieht man gleichsam bedeckt von einem Schleier zerstreuten bläulich weissen Lichtes, das sich noch weit über das violette Ende hinauszieht und in dem sonst dunklen Raum ausser dem Violett noch zahlreiche Fraunhofer'sche Linien zeigt, die sonst nicht zu sehen sind.

Dieses bläulich weisse Licht ist selbst aus allen Theilen der Spectrumfarben zusammengesetzt, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man es durch ein Prisma ansieht.

Da beim letzten Versuche die blauen, violetten und die über diese hinaus liegenden sonst unsichtbaren Strahlen zum Theil in sichtbares Licht von geringerer Brechbarkeit und grösserer Wellenlänge verwandelt wurden, so muss die Fluorescenz darin bestehen, dass Lichtwellen von kürzerer Schwingungsdauer in solche von längerer Oscillationszeit verwandelt werden.

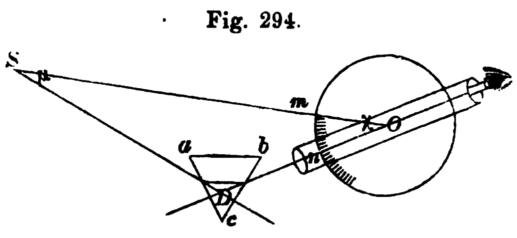
Da das Spectrum in der Chininlösung aus zwei Theilen besteht, nämlich aus den auffallenden Farben und aus dem bläulich weissen Lichte, so sieht man bei der Betrachtung desselben durch ein Prisma auch in der That zweierlei Spectra, und zwar gleichsam in einer gegenseitig verschobenen Lage.

Am leichtesten beobachtet man diese beiden Spectra, wenn man einen Streifen von einem weissen Bogen Papier mit der Chininlösung mehrmal bestrichen hat, und das ursprüngliche Spectrum so auffallen lässt, dass ein Theil auf diesen Streifen, der andere aber darunter fällt. Wie in der Chininlösung, so erscheint das Spectrum am Chininstreifen bedeutend länger als darunter. Durch das Prisma angesehen, zerfällt das längere in die zwei erwähnten Spectra.

b) Phosphorescenz. Manche Stoffe werden durch mechanische und chemische Vorgänge, ähnlich wie Phosphor, durch gelindes Reiben im geringen Grade selbstleuchtend. Dieses schwache nur im Finstern wahrnehmbare Selbstsleuchten nennt man Phosphorescenz. — Tritt dieses Selbstleuchten in Folge vorhergehender Bestrahlung durch irgend ein Licht auf, so nennt man es: Phosphorescenz durch Insolation. — Künstliche Leuchtsteine oder »Lichtsauger« phosphoresciren sehr stark.

§. 17. **Bestimmung des Brechungs-Exponenten durchsichtiger Körper bezüglich der Luft.** Ist der Körper fest, so schleift man ein dreiseitiges Prisma mit möglichst ebenen Flächen aus demselben, leitet einen Strahl durch das mit der engen, hinreichend weit entfernten verticalen Spalte S im Fensterladen parallel gestellte Prisma *abc* und fängt ihn mit einem nahe am Prisma befindlichen Fernrohre auf, wie Fig. 294 zeigt. Das Fernrohr ist um den Mittelpunkt eines in Grade eingetheilten horizontalen Kreises drehbar. Zur Vergleichung der Brechungsexponenten ist es unerlässlich, die Ablenkung jedesmal an Einem Strahle von derselben Brechbarkeit zu messen, was nur durch Fraunhofer'sche Linien, die zu diesem Behufe mit den Buchstaben A, B, C, D, E, F, G, H bezeichnet werden,

Fig. 294.



geschehen kann. Man gibt dem Prisma eine solche Stellung, dass die Ablenkung ein Minimum wird, richtet das Fernrohr zuerst auf die Spalte, so dass diese scharf zu sehen ist, dann auf eine bestimmte Fraunhofer'sche Linie im Spectrum und liest den Drehungswinkel $\lambda = SOD$ ab; aus den bekannten Entfernungen SO, DO und dem eingeschlossenen Winkel λ berechnet man den Winkel $OSD = \mu$ und hat für die kleinste Ablenkung $D = \lambda + \mu$. — In der Gleichung (2) haben wir aber für das Minimum der Ablenkung gefunden $D = 2\alpha - \varphi$, wobei $\varphi = 2\beta$ ist; daraus ergibt sich

$$\alpha = \frac{D + \varphi}{2} \text{ und } \beta = \frac{\varphi}{2},$$

mithin der Brechungsexponent

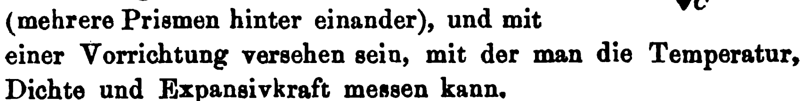
$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \left(\frac{D + \varphi}{2}\right)}{\sin . \frac{\varphi}{2}} = \frac{\sin . \left(\frac{\lambda + \mu + \varphi}{2}\right)}{\sin . \frac{\varphi}{2}} \ldots (1).$$

Wäre die Spalte sehr weit entfernt, DO sehr klein, so dürfte man die Richtungen SD und SO für parallel ansehen und $\mu = o$ setzen, dann hätte man

$$n = \frac{\sin \left(\frac{\lambda + \varphi}{2}\right)}{\sin \frac{\varphi}{2}} \ldots (2).$$

1. Für tropfbar flüssige Körper wird der Brechungsexponent mittelst eines Hohlprisma (Fig. 295) bestimmt; an den Seitenflächen a und b wird die eingegossene Flüssigkeit mit Spiegelplatten, die von parallelen Flächen begrenzt sind und daher die Richtung des Strahles nicht ändern, abgeschlossen.

Fig. 295.

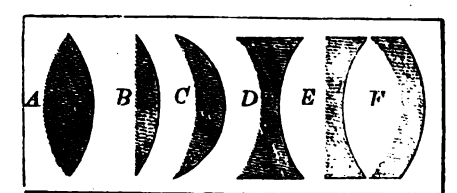


2. Bei gasförmigen Körpern bedient man sich auch eines hohlen Prisma, nur muss es, um eine messbare Ablenkung zu bewirken, einen grossen brechenden Winkel haben (mehrere Prismen hinter einander), und mit einer Vorrichtung versehen sein, mit der man die Temperatur, Dichte und Expansivkraft messen kann.

Man nennt die Grösse $n^2 - 1$ die **lichtbrechende Kraft** oder das **absolute Brechungsvermögen** des Mittels. Bezeichet man mit d die Dichte des Mittels, so heist $\frac{n^2 - 1}{d}$ das **specifische Brechungsvermögen.**

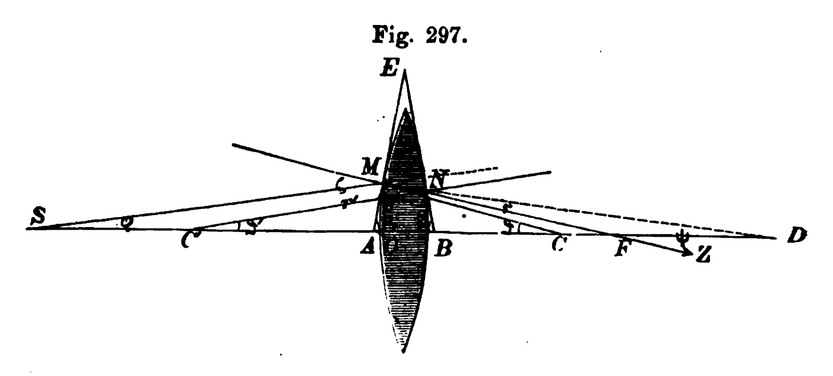
§. 18. **Brechung des Lichtes durch sphärische Linsen.** Unter einer optischen Linse versteht man einen durchsichtigen, von zwei Kugelflächen oder von einer Kugelfläche und einer Ebene begrenzten Körper. Man unterscheidet sechs Arten von Linsen, wie sie Fig. 296 darstellt; die Linse A ist biconvex, B planconvex, C concavconvex; D biconcav, E planconcav, F convexconcav. — Die Gerade, welche durch die beiden Mittelpunkte der die Linse begrenzenden Kugelflächen geht, heisst Axe der Linse; sind die Theile einer Linse um die Axe vollkommen symmetrisch, so ist die Linse gut centrirt.

Fig. 296.



a) Um die Vereinigungsweite der durch eine Linse gebrochenen Strahlen zu erhalten, nehmen wir (Fig. 297) eine gut centrirte Linse und lassen von einem in ihrer Axe in der Entfer-

Fig. 297.



nung a befindlichen leuchtenden Punkte einen Strahl SM auffallen. C und C' seien die Krümmungsmittelpunkte der beiden convexen Flächen, der Krümmungshalbmesser $AC = r$, $BC^1 = r.'$ Der in M auffallende Strahl wird zum Einfallslothe CM gebrochen und trifft, wenn man die Brechung an der Austrittsfläche unbe-

rücksichtigt lässt, im Punkte D den Hauptstrahl SD, also wäre in D das Bild von S in Folge der Brechung an der ersten Fläche. Bezeichnen wir OD mit d und berücksichtigen das Brechungsgesetz, so ist

$$\frac{\sin \varsigma}{\sin CMD} = \frac{\sin(\varphi + \vartheta)}{\sin(\vartheta - \psi)} = n,$$

daraus $\sin(\varphi + \vartheta) = n \sin(\vartheta - \psi)$;

nimmt man unter der Voraussetzung, dass der Strahl sehr nahe an der Axe auffalle, d. h. ein Centralstrahl sei, statt der Sinus ihre Bogen, so ist $\varphi + \vartheta = n\vartheta - n\psi$.

Ebenso ist nahezu auch $MO = y = a\varphi = r\vartheta = d\psi$; substituirt man die Werthe für ϑ, φ und ψ in die letzte Gleichung, so erhält man für die Brechung an der ersten Fläche

$$\frac{n}{d} = \frac{n-1}{r} - \frac{1}{a} \ldots (1).$$

Um daraus den Ausdruck für die Brechung an der zweiten Fläche der Linse zu erhalten, hat man nur zu berücksichtigen, dass beim Austritte in das frühere Medium n übergeht in $\frac{1}{n}$, d in die eigentliche Bildweite α der Linse, r in $-r_1$, und dass der Gegenstand für die zweite Fläche das von der ersten erzeugte Bild, also a für diese $-d$ ist. Führt man die angegebene Vertauschung in der Gleichung (1) aus, so hat man

$$\frac{n}{d} = \frac{1}{\alpha} - \frac{n-1}{r_1} \ldots (2).$$

Aus der Verbindung der Gleichungen (1) und (2) ergibt sich

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = (n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_1}\right) \ldots (3).$$

Der Quotient $\frac{1}{r}$ misst die Krümmung der vorderen, $\frac{1}{r_1}$ aber die der hinteren Linsenfläche. Man ersieht aus der Gleichung (3), dass die **Bildweite** α vom Winkel φ unabhängig ist, sobald dieser sehr klein ist.

Fallen Sonnenstrahlen auf die Linse, so ist $a = \infty$ zu setzen und die Strahlen für parallel anzusehen. Da das Sonnenbild als Vereinigungspunkt der Sonnenstrahlen eine bedeutende Hitze ent-

wickelt, so nennt man seinen Ort den Brennpunkt der Linse und die entsprechende Bildweite α die Brennweite p, also ist

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} = (n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_1}\right) \ldots (4).$$

Die Gleichung (3) geht sonach über in

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{\mu} - \frac{1}{\alpha} \ldots (5),$$

wodurch das Gesetz der Bildweite ausgedrückt erscheint, d. h.?

Dasselbe Gesetz gilt für die Bildweite eines nahe an der Axe oder, was dasselbe ist, eines weit entfernten, ausser der Axe liegenden Punktes S.

b) Aus der Gleichung (4) ist zu ersehen, dass die Brennweite p bald positiv, bald negativ sein kann, je nach der Grösse und dem Vorzeichen der Krümmungs-Halbmesser r und r_1. Linsen mit positiver Brennweite sammeln die Strahlen zu einem wirklichen Bilde und heissen deshalb Sammmellinsen; bei Linsen mit negativer Brennweite hingegen scheinen die Strahlen aus einem Punkte vor der Linse herzukommen, während sie hinter der Linse divergiren und zerstreut werden, daher führen diese den Namen Zerstreuungslinsen.

Sammellinsen: 1. Wenn beide Halbmesser im Sinne der Gleichung (4) positiv sind, mithin eine biconvexe Linse; 2. wenn $\frac{1}{r} = o$, wo $r = \infty$ ist, also eine planconvexe Linse; 3. wenn r negativ genommen wird, aber immer noch $\frac{1}{r} < \frac{1}{r_1}$, mithin die Linse concavconvex ist. Sind p, p_1, p_2 die Brennweiten dieser drei Arten von Sammellinsen der Reihe nach, so folgt aus diesen Werthen: $p_2 > p_1 > p$.

Zerstreuungslinsen: 1. Kehrt man in Gleichung (4) die Vorzeichen beider Halbmesser um, so ist

$$\frac{1}{p} = -(n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_1}\right)$$

für sine biconcave Linse; 2. ist $\frac{1}{r} = o$, so bleibt p immer

noch negativ, d. i. bei planconcaven Linsen; 3. wenn r wieder umgekehrt wird, aber $-\frac{1}{r} < \frac{1}{r}$, d. h. eine convexconcave Linse. Auch hier haben die Brennweiten der Reihe nach dasselbe Verhältniss $p_2 > p_1 > p$.

§. 19. **Erscheinungen an Sammellinsen.** Der Ausdruck für die Bildweite der Sammellinsen ergibt sich aus der Gleichung *(5)*

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a} \ldots (6).$$

a) Ort des Bildes. Man ersieht daraus, dass die kleinste Bildweite gleich ist der Brennweite $\alpha = p$, was bei parallelen Strahlen oder bei $a = \infty$ der Fall ist; nähert sich der Gegenstand, so wächst α, wird $a = 2p$, so ist auch $\alpha = 2p$, mithin steht in diesem Falle Bild und Gegenstand gleich weit vom Mittelpunkte der Linse ab; von da an nimmt α in viel stärkerem Verhältnisse zu, als a abnimmt, indem sich der Gegenstand noch mehr nähert, denn für $a = p$ wird schon $\alpha = \infty$.

Befindet sich der leuchtende Punkt innerhalb der Brennweite, d. h. ist $a < p$, so ist α negativ und $\frac{1}{\alpha} < \frac{1}{a}$, mithin $a < \alpha$, demnach werden in diesem Falle die Strahlen rückwärts verlängert sich in einem grössern Abstande α zu vereinigen scheinen, als a von der Linse entfernt liegt.

Fallen die Strahlen convergirend auf, so ist a negativ zu nehmen, daher ist

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} + \frac{1}{a},$$

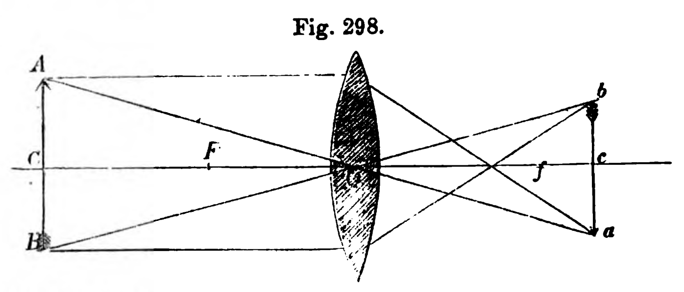
somit immer $\frac{1}{\alpha} > \frac{1}{a}$ und $a > \alpha$,

d. h. convergirende Strahlen werden durch eine Sammellinse noch stärker convergirend gemacht, und vereinigen sich näher an der Linse als ohne diese.

b) Um die Grösse und Lage des Bildes eines ausserhalb der Brennweite befindlichen Gegenstandes zu finden, ziehen wir in Fig. 298 von den Endpunkten des Gegenstandes AB die durch den optischen Mittelpunkt gehenden Haupt- und die Parallel-

strahlen, so erhalten wir die Durchschnittspunkte der von demselben Punkte ausgegangenen Strahlen auf der entgegen-

Fig. 298.



gesetzten Seite der Axe, d. h. das Blid *ab* erscheint verkehrt, und es ist

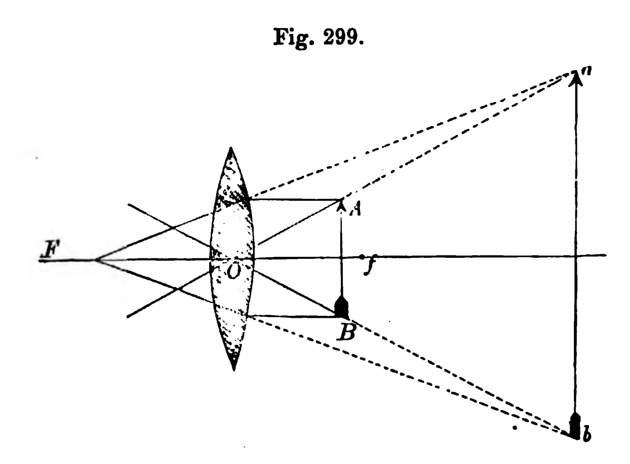
$$\frac{ab}{AB} = \frac{Oc}{OC} = \frac{\alpha}{a} = \frac{p}{a - p},$$

mithin ist $AB > ab$ so lange $a > 2p$ ist; $AB = ab$ für $a = 2p$, und $AB < ab$ für $a < 2p$. — Ist der Gegenstand innerhalb der Brennweite, also

$$a < p, \text{ so ist } \frac{ab}{AB} = -\frac{p}{p - a}, \text{ mithin } ab > AB,$$

d. h. ein durch eine Linse (Fig. 299) auf einen innerhalb der Brennweite Of befindlichen Gegenstand sehender Beobachter erblickt ein aufrechtes, vergrössertes Bild des Gegenstandes.

Fig. 299.



§. 19. **Erscheinungen an Zerstreuungslinsen.** Aus der Gleichung *(6)* ergibt sich der Ausdruck für die Bildweite der Zerstreuungslinsen, wenn man p negativ setzt,

$$\frac{1}{\alpha} = -\left(\frac{1}{p} + \frac{1}{a}\right) \ldots (7).$$

a) Die Bildweite bleibt daher negativ, so lange der leuchtende Körper vor der Linse steht und die Strahlen divergirend auffallen, und es ist $\alpha < a$, d. h. die aus der Linse tretenden Strahlen werden noch divergirender, so dass sie rückwärts verlängert sich näher vor der Linse schneiden würden als der Gegenstand liegt. Demnach haben Zerstreuungslinsen die Eigenschaft, das Bild des Gegenstandes dem durchsehenden Auge näher zu bringen.

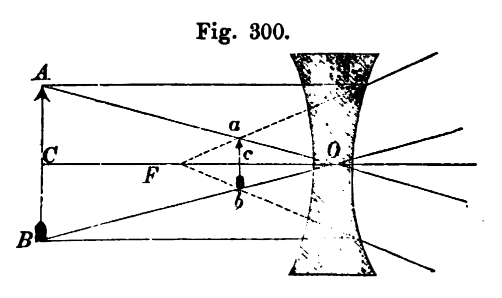
Fallen die Strahlen convergirend auf eine Zerstreuungslinse auf, so ist a negativ zu setzen, mithin

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{a} - \frac{1}{p};$$

und nun sind drei Fälle möglich, entweder ist $a = p$, oder $a < p$ oder $a > p$. Für $a = p$ ist $\alpha = \infty$ d. h die Strahlen treten in parallelen Richtungen aus der Linse. Für $a < p$ wird α positiv aber $\frac{1}{\alpha} < \frac{1}{a}$, mithin $\alpha > a$, d. h. die Strahlen treten weniger convergirend heraus und vereinigen sich in grösserer Entfernung als dies ohne Linse geschehen wäre. Für $a > p$ ist α negativ, d. h. die Strahlen divergiren nach dem Austritte aus der Linse, so dass sie rückwärts verlängert in einem Punkte vor der Linse sich vereinigen.

b) Um die Grösse und Lage des Bildes eines Gegenstandes AB zu finden, ziehen wir (Fig. 300) wieder die üblichen Strahlen und verlängern die nach der Brechung divergirenden nach rückwärts. Das Bild steht aufrecht, ist aber verkleinert, und zwar ist

Fig. 300.



$$\frac{ab}{AB} = \frac{Oc}{OC} = \frac{\alpha}{a} = -\frac{p}{a+p}. \text{ d. h.?}$$

Bei convergirenden Strahlen hingegen hat man a negativ zu nehmen, mithin

$$\frac{ab}{AB} = -\frac{p}{p-a} = \frac{p}{a-p},$$

d. h. so lange $a > 2p$ ist, erscheint $ab > AB$.

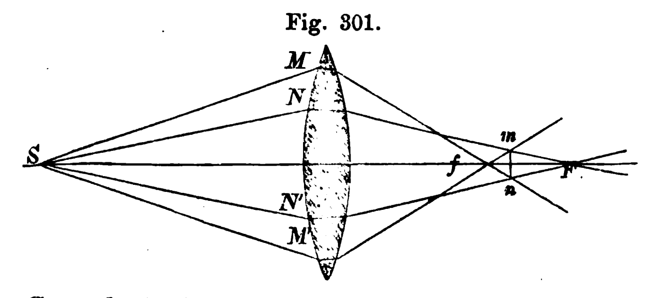
Aus den Figuren Fig. 298, 299 und 300 ist es ersichtlich, dass die erzeugten Bilder der Endpunkte des Gegenstandes stets in den betreffenden Hauptstrahlen liegen.

§. 20. **Sphärische Abweichung der durch Linsen gebrochenen Strahlen.** Bei der Ableitung der Vereinigungs- oder Bildweite der Strahlen hat sich ergeben, dass sich die Centralstrahlen für sich in einem Punkte vereinigen; Randstrahlen hingegen vereinigen sich in einem näher an der Linse gelegenen Punkte. Denn jeder Strahl wird durch die Linse (Fig. 299) gerade so gebrochen wie durch ein Prisma AEB, dessen Seitenflächen die Linse an der Ein- und Austrittsstelle berühren. Nun ist der Winkel bei $E = 180^0 - (\alpha + \beta)$, wo $\sphericalangle\ \alpha = MAB$ ist, aber es ist $\alpha = 90^0 - \vartheta$ und $\beta = 90^0 - \vartheta'$, mithin $\alpha + \beta = 180^0 - (\vartheta + \vartheta')$, folglich auch der Winkel

$$E = \vartheta + \vartheta'$$

daraus folgt, dass mit der Grösse der Winkel ϑ und ϑ' der brechende Winkel E der Linse zunimmt, daher erleiden die näher gegen den Rand hin durchgehenden Randstrahlen eine stärkere Brechung als die Centralstrahlen und müssen auch in einem der Linse näher gelegenen Punkte mit der Axe zum Durchschnitt gelangen. In Fig. 301 ist in F die Vereinigung

Fig. 301.



zweier Central-, in f aber die zweier Randstrahlen dargestellt; die Vereinigungspunkte der zwischen MN auffallenden Strahlen liegen zwischen F und f.

Diese von der Kugelgestalt der Linsen herrührende Verschiedenheit der Vereinigung der Strahlen nennt man sphä-

rische Abweichung. — Dasselbe ist auch bei Zerstreuungslinsen der Fall, nur findet die Abweichung der einzelnen Strahlen dort in der entgegengesetzten Richtung statt.

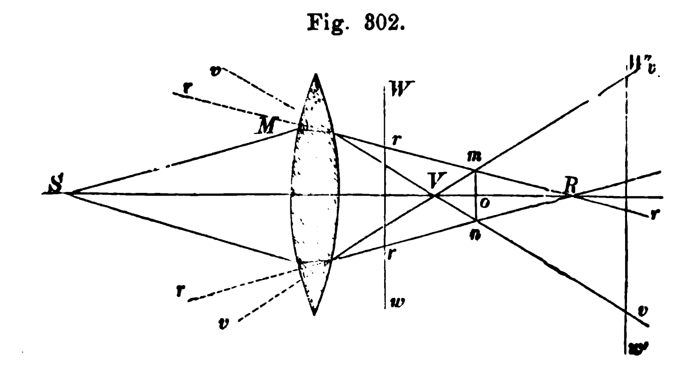
Undeutlichkeit des Bildes. Der kleinste senkrecht auf die Axe geführte Durchschnitt der gebrochenen Strahlen (Kegel) erscheint als ein Kreis vom Durchmesser *mn*, man nennt ihn Abweichungskreis; dieser stellt das Bild des Punktes *S* vor, daher bringt diese Abweichung eine Undeutlichkeit im Bilde eines Punktes, sowie in dem eines beliebigen Gegenstandes hervor. Bedenkt man, dass in dem Kegel mehr Rand- als Centralstrahlen vorhanden sind, so sieht man, dass die Kreisfläche *mn* einen hellen Rand haben muss und dass die Erleuchtung derselben gegen die Mitte zu abnimmt. Dadurch wird nun die Undeutlichkeit noch bedeutend vergrössert.

Je geringer der Abstand von *F* und *f* ist, desto kleiner auch der Abweichungskreis und mit ihm die Undeutlichkeit. Der Halbmesser des Abweichungskreises darf niemals unter einem Winkel erscheinen, der grösser ist als eine Secunde, damit das Auge das Bild deutlich sieht. Man sucht daher den Abweichungskreis auf verschiedene Weise zu verkleinern: 1. durch Verkleinerung der Oeffnung mittelst einer sogenannten Blendung (Diaphragma); doch darf diese wegen der Helligkeit nicht zu weit gehen; 2. durch Verminderung der Krümmungen beider Kugelflächen, also durch Vergrösserung der Brennweite der Linse; 3. durch Aenderung des Verhältnisses der beiden Krümmungshalbmesser kann man bei ungeänderter Oeffnung und Brennweite die sphärische Abweichung auf ein Minimum bringen. Linsen, bei denen die Abweichung ein Minimum ist, heissen Linsen von bester Form; planconvexe und planconcave Linsen wirken beinahe wie Linsen von bester Form, wenn man die gekrümmte Fläche dem Gegenstande zukehrt.

§. 21. **Chromatische Abweichung, achromatische Prismen und Linsen.** Die Ursache der chromatischen Abweichung ist die verschiedene Brechbarkeit der Strahlen des weissen Lichtes. Weil die rothen Strahlen am wenigsten, die violetten aber am stärksten gebrochen werden, und daher (Fig. 302) z. B. die rothen im Punkte *R* mit dem Hauptstrahle sich schneiden, so werden sich

die violetten näher an der Linse in V mit ihm vereinigen. Zwischen V und R liegen die Durchschnittspunkte sämmtlicher zwischen

Fig. 302.



roth und violett vorkommenden Strahlen. Diese Verschiedenheit der Vereinigungsweite verschiedenfarbiger Strahlen nennt man **chromatische Abweichung**. Sie erzeugt eine **Undeutlichkeit** der Bilder, indem sich das Bild eines Punktes S als Kreis vom Durchmesser mn darstellt. — Dadurch dass sich im Punkte o die Strahlen mittlerer Brechbarkeit, die gelben, also die intensivsten, schneiden, wird die Mitte des Kreises hell, mithin weniger undeutlich, als wenn die Ränder am intensivsten wären; und doch erscheint der helle Punkt o weiss, weil daselbst Strahlen jeder Brechbarkeit, von verschiedenen Theilen der Linse kommend, durchgehen. Wenn ein Auge in mn diese Strahlen aufnimmt, so erscheint das kreisförmige Bild des Punktes von einem violetten Saume umgeben, wie dies aus den rückwärts verlängerten punktirten Strahlen zu ersehen.

An den Schirmen Ww und W_1w_1 ist zu sehen, dass der Durchschnitt des Strahlenkegels bald einen rothen, bald einen violetten Rand zeigt.

a) **Doppelprisma und Doppellinse.** Die chromatische Abweichung zu beseitigen, wäre es sehr leicht, wenn man auf die Brechung keine Rücksicht zu nehmen hätte; denn die durch ein Prisma bewirkte Farbenzerstreuung wird durch ein zweites, welches die Strahlen ebenso stark, aber in entgegengesetzter Richtung zerstreut, aufgehoben. Aber in dem einfachsten Falle, wo beide Prismen von derselben materiellen Beschaffenheit sind,

wird dadurch auch die Brechung aufgehoben. Bei den Linsen soll aber eine Brechung vorhanden sein, damit die gebrochenen Strahlen zum Durchschnitte gelangen und so Bilder erzeugen, also muss die Brechung trotz der Farbenaufhebung beibehalten werden. Dies ist nur möglich, wenn man das zweite Prisma aus einem andern Stoffe macht, dessen farbenzerstreuende Kraft in einem grössern Verhältnisse wächst als die brechende. Besteht das erste Prisma aus Crownglas, so kann man ein zweites Prisma von Flintglas anfertigen, das bei einem kleinern brechenden Winkel schon das Bild achromatisch macht, ohne die Brechung aufzuheben. — Man pflegt dieses an dem sogenannten Doppelprisma zu zeigen.

Da im Doppelprisma das zweite Prisma die Strahlen dem ersten entgegengesetzt bricht, so erreicht man den Achromatismus mit einer Doppellinse, wenn man zu einer convexen Crownglas-Linse eine concave Flintglas-Linse hinzu setzt.

Aus der entgegengesetzten Stellung der brechenden Winkel an einem Doppelprisma ersieht man, dass eine Sammellinse nur durch eine Zerstreuungslinse achromatisirt werden kann. Um die Bedingungen des Achromatismus zu ermitteln, seien $+p$ und $-p'$ die bezüglichen Brennweiten der Bestandlinsen. Fallen die Strahlen parallel auf die Sammellinse, so erzeugt diese ein Bild in der Entfernung p; vernachlässigt man die Dicke der Linse, so ist das a der zweiten Linse durch $-p$ zu ersetzen, also die Vereinigungsweite der Doppellinse nach Gleichung (1)

$$\frac{1}{\alpha} = -\left(\frac{1}{p'} + \frac{1}{-p}\right) = -\frac{1}{p'} + \frac{1}{p} \ldots (1).$$

Ist nun $p < p'$, so ist die Doppellinse eine Sammellinse von grösserer Brennweite. Die Brennweite der Doppellinse muss nun für die äussersten Strahlen des Spectrums ebenso gross sein, wie für die mittleren, damit durch das Zusammenfallen derselben die Farben sich zu Weiss ergänzen. Bezeichnet man mit K die Summe der Krümmungen bei der Crownglaslinse, mit K_1 die bei der Flintglaslinse, mit n und n_1 den Brechungsexponenten für die mittleren, mit $n + d$ und $d_1 + n_1$ den für die äussersten Strahlen des Spectrums in diesen Linsen, so ist für die mittleren Strahlen vermöge der Gleichung (1)

$$\frac{1}{\alpha} = (n - 1)\, K - (n_1 - 1)\, K_1,$$

und für die äussersten

$$\frac{1}{\alpha'} = (n + d - 1)\, K - (n_1 + d_1 - 1)\, K_1.$$

Um aber eine achromatische Doppellinse zu erzielen, muss $\alpha = \alpha'$ sein, daher müssen auch die zweiten Theile einander gleich sein, mithin

$$dK = d_1 K_1 \text{, oder da } K = \frac{1}{p\,(n-1)} \text{ und } K_1 = \frac{1}{p'\,(n_1 - 1)},$$

so muss auch sein:
$$\frac{d}{p\,(n-1)} = \frac{d_1}{p'\,(n_1 - 1)},$$

daher die Bedingung für eine achromatische Doppellinse

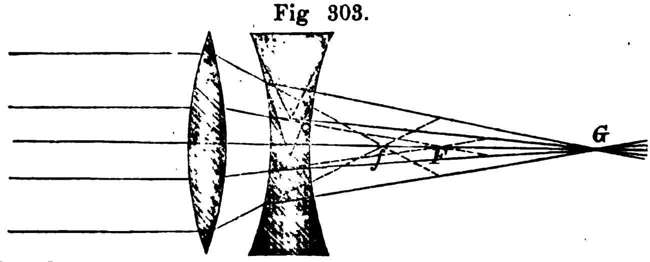
$$\frac{d}{n-1} : \frac{d_1}{n_1 = 1} = p : p \ldots (2).$$

Da d und d_1 die Unterschiede der Brechungsexponenten für die mittleren und äussersten Strahlen der Bestandlinsen sind, so drückt die Gleichung *(2)* aus, dass eine Doppellinse dann achromatisch sein wird, wenn die Brennweiten der Bestandlinsen ihrem Zerstreuungsvermögen proportional sind.

Streng genommen werden so erst die äussersten Strahlen mit den mittleren, aber nicht nothwendig mit den Zwischenstrahlen vereinigt; dazu kommt noch das ungleiche Zerstreuungsvermögen des Crown- und Flintglases für verschiedene Lichtstrahlen. Aber die Deutlichkeit der Bilder wird nicht merklich leiden, wenn man nur die lebhaftesten Farben vereinigt.

b) **Aplanatische Linse.** Da eine **achromatische Doppellinse** aus einer Sammel- und einer Zerstreuungslinse besteht, so kann durch passende Wahl der Krümmungshalbmesser zugleich die sphärische Abweichung beseitigt werden; denn man sieht in Fig. 303, dass die aus der Sammel- auf die Zerstreuungslinse

Fig 303.

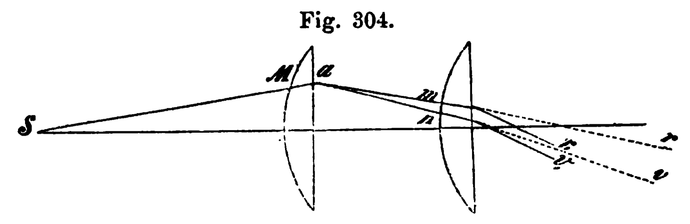


fallenden Strahlen in der letztern einen um so grössern brechenden Winkel treffen, je näher an dem Rande sie auffallen. Es werden somit die früher in f zusammenlaufenden Randstrahlen viel mehr von ihrer Convergenz verlieren als die Centralstrahlen, wodurch es möglich ist, dass die früher in den Punkten F und f zusammenlaufenden Strahlen in einem etwas entfernteren Punkte G ihre Vereinigung finden. Eine solche von der chromatischen und sphärischen Abweichung freie Doppellinse wird eine **aplanatische Linse** genannt.

c) **Doppelocular.** Die **sphärische** Abweichung vermindert man bei optischen Instrumenten oft dadurch, dass man

anstatt einer einfachen Linse eine ebenso stark vergrössernde Verbindung von zwei Sammellinsen, ein sogenanntes Doppelocular gebraucht. Indem jede einzelne Linse eine grössere Brennweite, daher eine kleinere Krümmung hat, erlangt man den Vortheil, dass man bei einer grösseren Oeffnung noch eine kleinere Kugelabweichung hat; ja man hebt letztere fast vollständig auf, wenn dieses Ocular aus planconvexen mit der Krümmung gegen das Object gewendeten Linsen besteht, und wenn überdies eine Blendung fast die halbe Oeffnung bedeckt. Bei einem gewissen Abstande der beiden Linsen des Doppeloculars ercheint auch die chromatische Abweichung aufgehoben, denn jeder vom Objectiv kommende Lichtstrahl, wie z. B. *SM* Fig. 304 wird durch die erste Linse in seine farbigen Bestandtheile zerlegt, so dass der rothe Strahl *ar*

Fig. 304.



die zweite Linse im Punkte *m*, der violette *av* aber im Punkte *n* trifft. Da die Lage des Punktes *m* einem grössern brechenden Winkel entspricht, als die Lage des näher an der Axe liegenden Punktes *n*, so wird der rothe minder brechbare Strahl durch die zweite Linse etwas stärker zur Axe gebrochen als der violette, und es kann beim Auseinanderrücken ein Abstand der Linsen gefunden werden, bei welchem der rothe und violette Strahl in parallelen Richtungen mr_1 und nv_1 heraustreten, wobei die chromatische Abweichung fast ganz aufgehoben erscheint. Die erste Linse *Ma* nennt man häufig Collectivlinse.

§. 22. **Optische Instrumente.** Instrumente, welche man aus Spiegeln oder Linsen zusammensetzt, um Gegenstände als Lichtbilder zu betrachten, nennt man optische Instrumente. — Man unterscheidet dioptrische und katoptrische Instrumente; erstere bestehen blos aus Linsen, letztere aber nebst Linsen auch aus Spiegeln.

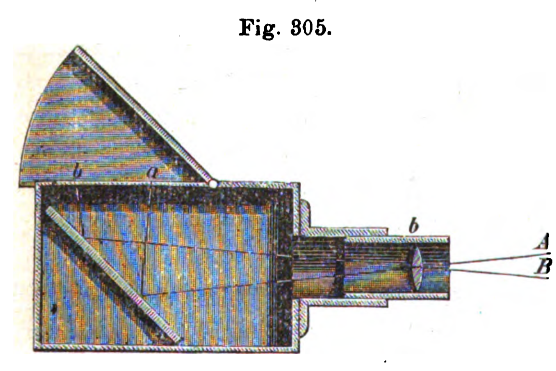
Die wesentlichsten Bestandtheile sind: das Objectiv, mit dem man ein Bild des Gegenstandes erzeugt, und das Ocular,

mit dem man das vom Objectiv erzeugte Bild in einem dunklen Raume betrachtet. An der Stelle, wo das Bild des Objectivs entsteht, wird ein **Diaphragma** angebracht, um alles fremde Licht abzuhalten. Bei der Einrichtung jedes optischen Instrumentes muss für **Deutlichkeit**, **Helligkeit**, für ein möglichst grosses **Gesichtsfeld** und für **Vergrösserung** der Gegenstände gesorgt werden.

Zur Erreichung der Deutlichkeit müssen Objectiv und Ocular aplanatisch sein; zur Helligkeit des Bildes ist eine gewisse Oeffnung des Objectivs, bei starken microscopischen Vergrösserungen aber ist wegen der kleinen Objectivsöffnung eine besondere Beleuchtung nothwendig. Eine grössere Oeffnung bringt ein grösseres Gesichtsfeld mit sich, doch wird der Oeffnung durch die Bedingungen der Deutlichkeit eine gewisse Grenze gesetzt. Erscheint das vom Objectiv erzeugte Bild hell und deutlich, so kann man es sehr bedeutend vergrössern, bei einer Unreinheit des Bildes aber nicht, da man sonst die Fehler mit vergrössern würde.

§. 23. Die **Camera obscura** (Fig. 305) hat die Bestimmung, Bilder von Gegenständen auf einer Tafel darzustellen, um sie entweder nachzeichnen oder photographiren zu können. Die Camera obscura besteht aus einer verfinsterten, inwendig geschwärzten Kammer, in welcher ein verschiebbares Objectiv *b* von einem **beleuchteten** Gegenstande an einer **matt** geschliffenen Glastafel ein sichtbares Bild erzeugt. Will man den Gegenstand nach dem Bilde zeichnen, so gibt man der Camera obscura die aus der Figur ersichtliche Einrichtung. Der Gebrauch der Camera obscura zur Erzeugung der in allen Theilen deutlich ausgeprägten Bilder in der Photographie erfordert ein Objectiv, welches selbst auf grösseren Flächen noch ganz reine und scharfe Bilder erzeugt. Im photographischen Apparat erscheint das Bild auf der Hinterwand des Kastens, wo die zur Aufnahme bestimmte lichtempfindliche Platte eingestellt wird.

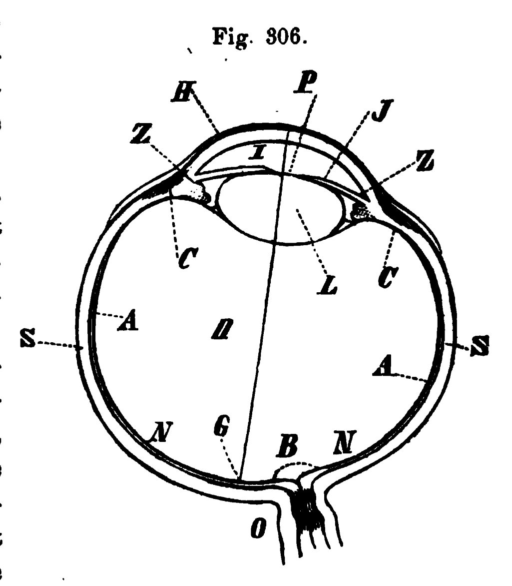
Fig. 305.



Hier können auch erwähnt werden Wollaston's Camera lucida, zum Nachzeichnen naher Gegenstände und die Zauberlaterne, die auch zur Erzeugung der Nebelbilder verwendet werden kann.

§. 24. **Das Auge** (Fig. 306). Der wesentlichste Theil des Sehorgans ist der Augapfel, der sich in der Augenhöhle befindet, und mittelst mehrerer Muskel nach allen Seiten bewegt werden kann. Die feste Hülle des Augapfels ist aus einer straffen dicken Sehnenhaut *S* gebildet; die vordern Theile dieser festen Hülle sind als das Weisse des Auges zwischen den Augenlidern sichtbar. Inwendig ist diese feste Hülle geschwärzt, indem sie mit einer feinen, mit schwarzem Pigment dicht bedeckten Aderhaut *A* gleichsam austapeziert ist. Der Augapfel ist mit durchsichtiger, wasserheller Flüssigkeit *I*, *II* ausgefüllt, mit welcher der optische Apparat des Auges in Berührung steht. Vorn ist die kugelig gewölbte durchsichtige Hornhaut *H* in die weisse Sehnenhaut eingesetzt. Ihre Stellung und Krümmung bildet einen unveränderlichen Theil der festen Aussenwand des Augapfels. Nahe hinter der Hornhaut ist die Krystalllinse *L*, aber fast ganz verdeckt von der braunen oder blauen Iris *J* oder Regenbogenhaut. Die Krystalllinse liegt dicht an der Iris, und in der Mitte der Iris ist eine runde Oeffnung, die Pupille *P*, wo die Linse unbedeckt bleibt. Die Krystalllinse ist aber so durchsichtig, dass man bei gewöhnlicher Beleuchtung von ihr nichts erkennt, sondern nur die Schwärze des Hintergrundes des Augapfels wahrnimmt; sie ist ein weich elastischer linsenförmiger Körper, ringsum durch ein in strahlenförmige Falten gelegtes Band, das Strahlenblättchen *Z* befestiget. Die Spannung dieses Bandes kann durch

Fig. 306.



den im Auge befindlichen, ringsum am Rande der Hornhaut entspringenden Ciliarmuskel C verändert werden. Die innerste Fläche der Hinterwand des Augapfels ist von der Netzhaut N, einer membranartigen Ausbreitung des Sehnerven ausgekleidet. Der Sehnerv O selbst ist ein cylindrischer Strang, welcher sehr feine Nervenfasern der Netzhaut zuführt. Die Sehnervenfasern sind über die vordere Fläche der Netzhaut ausgebreitet. Die Enden der Nervenleitung bilden aber hinter der Netzhaut ein regelmässig gebildetes Mosaik aus feinen cylindrischen Stäbchen und flaschenartigen Gebilden, den Zapfen. Dieses Mosaik der Stäbchen und Zapfen ist die eigentlich lichtempfindliche Schichte der Netzhaut.

Die Stelle des schärfsten Sehens, der feinsten Raumunterscheidung, ist die Netzhautgrube G in der Mitte des gelben Fleckes. In der Netzhautgrube sind die Zapfen am engsten zusammengedrängt.

Wenn wir den Blick auf einen Gegenstand hinwenden, so stellen wir das Auge so, dass sich das Bild desselben auf der Netzhautgrube abbildet. Dieses Sehen heisst directes Sehen, indirectes hingegen, wenn wir mit den seitlichen Theilen der Netzhaut sehen.

Was das Bild anbelangt, so geschieht im Auge genau dasselbe wie in der Camera obscura des Photographen, nur vertritt die Stelle der Glaslinsen die Hornhaut und die Krystalllinse, die Netzhaut aber die Stelle der photographischen Platte.

Die Netzhaut hat unweit der Mitte des Gesichtsfeldes eine Lücke, den sogenannten blinden Fleck B, d. i. die Eintrittsstelle des Sehnerven. Diese Lücke hat nämlich keine lichtempfindlichen Elemente, keine Zapfen; sie ist so gross, dass in ihr horizontal neben einander 11 Vollmonde oder ein sechs bis sieben Fuss entferntes menschliches Gesicht verschwinden können, ohne gesehen zu werden.

a) Accomodation. Das ruhende normalsichtige Auge sieht ferne Gegenstände deutlich; durch Spannung des Ciliarmuskels C wird es für nahe Gegenstände eingerichtet oder accomodirt, so dass auf seinem Hintergrunde ein deutliches Bild des Objectes entsteht, ähnlich wie durch gehörige Einstellung des Objectivs des photographischen Apparates.

b) Bei ungenügender Accomodation entstehen die individuellen Fehler der Kurz- und Weitsichtigkeit, die aber durch richtig gewählte Brillen beseitigt werden können.

Die Untersuchungen haben ferner ergeben, dass die Hornhaut der meisten menschlichen Augen nicht drehrund gekrümmt ist, und dass ferner Hornhaut und Krystalllinse nicht genau concentrirt sind. Die Folge davon ist der mit dem Namen Astigmatismus bezeichnete Fehler, der bewirkt, dass einige Augen eine horizontale und verticale Linie von gleicher Entfernung nicht gleichzeitig deutlich sehen können. Wo der Astigmatismus störend wirkt, kann man ihn nur durch Brillengläser mit cylindrischen Flächen beseitigen.

c) Die Krystalllinse hat ausserdem sechsstrahlige Faserzüge in sich, diese bewirken, dass das Bild eines Objectpunktes nicht ein reiner Punkt, sondern unregelmässig strahlig erscheint, so dass wir dort wirklich strahlige Objecte wahrnehmen, wie dies in der That der Fall ist beim Ansehen der Sterne und der fernen Lichtflammen.

Nach vergeblichen Versuchen Anderer wies Listing nach, dass man die mannigfaltigen Lichtablenkungen im Auge durch die Brechung an einer einzigen Kugelfläche ersetzt denken kann, welche auf der einen Seite von der Luft auf der andern von der Glasfeuchtigkeit begrenzt wird. Dieses vereinfachte Schema des Sehorgans heisst Listing's reducirtes oder schematisches Auge.

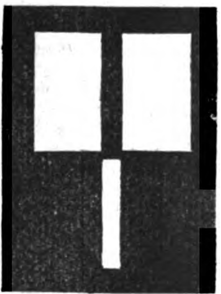
d) Die wesentlichen Bedingungen des Sehens sind die Entstehung der Bilder auf der Netzhaut und die Empfindlichkeit des Sehnerven. Undurchsichtigkeit der Krystalllinse, wie sie beim grauen Staar vorkommt, und Unempfindlichkeit des Sehnerven bedingen die Blindheit. Ausserdem ist noch eine gehörige Helligkeit und Grösse der Bilder, so wie eine gewisse Dauer des Eindruckes zum deutlichen Sehen nothwendig.

e) Die Deutlichkeit der Bilder im Auge wird erzielt durch den eigenthümlichen Bau der Krystalllinse, durch die als Diaphragma wirkende Iris, die, an der Rückseite mit einem schwarzen Pigmente bedeckt, alle zerstreuten und von der Linse reflectirten Strahlen absorbirt, dann durch die Wölbung der Netzhaut, indem nach dem Gesetze der Vereinigungsweite die Bilder der Endpunkte des Gegenstandes näher an der Linse entstehen, wodurch das Bild selbst gewölbt oder gekrümmt erscheint, und nur mit einer ebenso gewölbten Fläche zusammenfallen kann. Selbst der Achromatismus wird durch die im Auge befindlichen Feuchtigkeiten erzielt, wenigstens hin-

sichtlich solcher Gegenstände, die sich in einer passenden Entfernung befinden. Die Helligkeit wird durch die Eigenschaft der Pupille, sich bei starkem Lichte zusammenzuziehen, bei schwacher Erleuchtung des Objectes aber sich zu erweitern, geregelt.

f) Irradiation. Der Eindruck auf der Netzhaut verbreitet sich aber etwas um den Vereinigungspunkt der von einem Gegenstande kommenden Strahlen, so dass das Bild eines Fixsternes nicht als Punkt, sondern als ein Scheibchen erscheint. Diese Erscheinung, Irradiation genannt, kann man an einer schwarzen Fläche (Fig. 307), an der zwei weisse Rechtecke durch einen schwarzen Streifen getrennt sind, dem ein gleich breiter weisser Streifen angelegt ist, beobachten. Aus der Entfernung von zwei bis drei Klaftern sieht man den weissen Streifen breiter als den schwarzen. — So scheint auch die Mondsichel zu einer grössern Kugel zu gehören, als der dunkle Theil des Mondes.

Fig. 307.



§. 25. Accomodation, Kurz- und Weitsichtigkeit. Das gesunde Auge besitzt innerhalb gewisser Grenzen die Fähigkeit sich verschiedenen Entfernungen der Gegenstände so anzupassen, dass immer die Vereinigungspunkte der von ihnen kommenden Lichtstrahlen genau auf die Netzhaut fallen; denn fielen sie vor oder hinter die Netzhaut, so würden sich Bilder der einzelnen Punkte auf der Netzhaut als kreisförmige Scheibchen darstellen und Undeutlichkeit verursachen, wie dies bei Kurz- und Weitsichtigen wirklich der Fall ist. Diese Accomodationsfähigkeit des Auges, die nach neueren Versuchen von Helmholtz darin besteht, dass sich mit der Richtung der Augenaxen auf Objecte in verschiedener Entfernung, die Krümmungen der Krystalllinse ändern, hat jedoch eine gewisse Grenze. Ein gesundes Auge vermag einen weniger als acht Zoll entfernten Gegenstand nicht mehr ohne grosse Anstrengung deutlich zu sehen. Am deutlichsten erscheinen die Gegenstände in der Entfernung von acht bis zehn Zoll, weshalb man diese Entfernung die Sehweite heisst.

Ausnahmsweise ist aber die deutliche Sehweite kleiner bei Kurz- und grösser bei Weitsichtigen; daher sucht man in diesen Fällen durch den Gebrauch von Augengläsern oder

Brillen das deutliche Sehen zu erreichen. — Die dem kranken, kurz- und weitsichtigen Auge entsprechenden Linsen finden wir durch Vergleichung des kranken mit dem normalen Zustande des Auges. Ist k die Entfernung des deutlichen Sehens beim kranken Auge, G die Sehweite des gesunden Auges oder der Abstand, in welchem das gesunde Auge den Gegenstand deutlich sieht, p die Brennweite der gesuchten Linse, und bemerkt man, dass das Bild des Gegenstandes in der Entfernung k vor der Linse entstehen muss, so hat man

$$-\frac{1}{k} = \frac{1}{p} - \frac{1}{G}, \text{ daraus } p = \frac{k \cdot G}{k - G}.$$

Dieser Ausdruck für die Brennweite der gesuchten Linse sagt uns, dass ein Weitsichtiger, bei dem $k > G$ ist, eine Sammel-, ein Kurzsichtiger, bei dem $k < G$ ist, hingegen eine Zerstreuungslinse zur Abhilfe gebrauchen muss. Ferner folgt daraus für Weitsichtige

$$p = +\frac{G}{1 - \frac{G}{k}} \ldots (1),$$

und für Kurzsichtige

$$p = -\frac{G}{\frac{G}{k} - 1} \ldots (2).$$

Die Gleichung *(1)* belehrt uns, dass mit grösser werdenden k, d. h. bei zunehmender Weitsichtigkeit Linsen von immer kleinerer Brennweite zu gebrauchen sind; dasselbe sagt die Gleichung *(2)* für höhere Grade von Kurzsichtigkeit. Daher suche man anfangs dem Uebel durch eine Linse von möglichst grosser Brennweite abzuhelfen, und nehme bei zunehmendem Zustande nach und nach Linsen von kleinerer Brennweite oder, wie man sagt, schärfere Linsen. Immer aber ist die Wahl so zu treffen, dass das Auge die Gegenstände ohne Anstrengung und weder grösser noch kleiner durch die Brille sieht. — Will Jemand im gesunden Zustande, wo $k = G$ ist, eine Brille tragen, so sagt ihm die Rechnung, dass $p = \infty$ sein, d. h. dass er Plangläser einsetzen muss, wo nicht, so kann sein gesundes Auge in einen krankhaften Zustand versetzt werden.

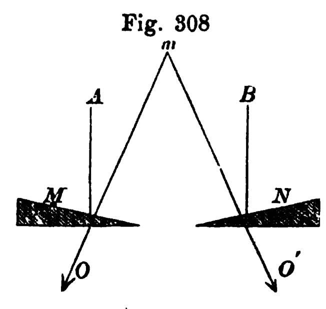
Beim Aussuchen der Brillen darf man dem Auge keinen Zwang anthun, daher nicht lange durch eine gebotene Brille sehen, weil sich sonst das Auge accomodirt und man keine sichere Wahl mehr treffen kann. Einige Optiker

haben daher recht verständig eigene Zeichen in abnehmender Grösse an einer Wand, die sie aus einer bestimmten Entfernung ansehen lassen; aus der Angabe der Erscheinung schliessen sie auf den Grad der Krankheit und beugen so dem langen nachtheiligen Probiren vor.

§. 26. **Das Stereoscop.** Das Sehen mit beiden Augen bringt nur so lange die einfache Wahrnehmung des Gegenstandes hervor, so lange die Bilder in beiden Augen an den nämlichen Stellen der Netzhaut erscheinen, wo dies nicht der Fall ist, sieht man den Gegenstand doppelt.

Der Gebrauch beider Augen macht uns möglich die Entfernung einigermassen zu beurtheilen, indem wir die Augenaxen mit einer merklichen Anstrengung richten müssen, um von einem entferntern auf einen viel nähern Gegenstand zu übergehen; aber auch die Gestalt der Oberfläche eines Körpers lässt sich mit beiden Augen viel genauer ausnehmen als mit einem, wie uns das Stereoscop beweist, indem es durch das Zusammenfallen zweier Flächengestalten, deren eine der Ansicht mit dem linken, die andere der Ansicht mit dem rechten Auge entspricht, die Körperlichkeit hervortreten lässt. Das Stereoscop in der von Brewster verbesserten Form soll durch Fig. 308 versinnlicht werden. *A* und *B* sind die zwei Bilder des Gegenstandes, und zwar entspricht *A* der Ansicht mit dem linken, *B* jener mit dem rechten Auge, *M* und *N* sind zwei sphärische Prismen, welche aus einer und derselben Convexlinse geschnitten sind, von vollkommen gleichem brechenden Winkel. Der Beobachter wird mit seinen Augen *O*, *O'* die beiden im Punkte *m* sich denkenden Bilder als ein einziges wahrnehmen. — Dieses Stereoscop zeigt die schönste Reliefform von zwei photographischen Bildern, die unter einem Winkel von 12° aufgenommen sind.

Fig. 308

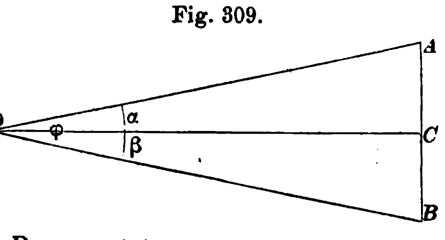


§. 27. **Grösse, Entfernung und Bewegung der gesehenen Gegenstände.** Der unmittelbare Lichteindruck ruft in dem Auge nur die Empfindung der Richtung und der Farbe des Lichtes hervor; alle andern Eigenschaften der Körper, zu deren Kenntniss wir durch das Auge gelangen, ergeben sich erst in Folge von Urtheilen, die wir aber aus Gewohnheit unbewusst und mit solcher Schnel-

ligkeit fällen, dass sie mit dem Sinneseindrucke zusammenfallen.

a) Sehwinkel. Die Grösse, in der sich ein entfernter Körper unserm Gesichtssinne vorstellt, nennen wir die scheinbare Grösse; diese wird durch den Winkel gemessen, den die von den Endpunkten des Gegenstandes zu unserm Auge gezogenen Geraden mit einander einschliessen. Man nennt diesen Winkel Seh- oder Gesichtswinkel. Ist $AOB = \varphi$ (Fig. 309) der Gesichtswinkel, unter dem wir eine Dimension $AB = r$ eines in der Entfernung $OC = a$ befindlichen Gegenstandes AB sehen, so ist bei grosser Entfernung, wo die Winkel α und β sehr klein sind, und man statt der Tangenten ihre Bogen setzt:

Fig. 309.



$$r = a\,(\alpha + \beta) = a\varphi, \text{ und } \varphi = \frac{r}{a} \ldots (1),$$

d. h. der Sehwinkel oder die scheinbare Grösse ist der Entfernung des betrachteten Gegenstandes umgekehrt proportional.

Die Fertigkeit, aus der bekannten Entfernung auf die Grösse eines Gegenstandes zu schliessen und umgekehrt aus der bekannten Grösse auf die Entfernung, bedingt das Augenmaass. — Kennt man von einem Gegenstande nicht die Entfernung vom Auge, z. B. von einer Wolke, und will die Dimension angeben, so kann dies nur im Bogenmaasse geschehen, zu dessen Bestimmung sich der Durchmesser der Sonne oder des Mondes (von ungefähr $^1/_2$ Grad) empfiehlt.

b) Scheinbare Bewegung. Aendert der Beobachter seinen Standort, so ändert sich φ und a, in φ' und a' und man hat

$$\varphi' = \frac{r}{a'}; \text{ wird } (1) \text{ davon subtrahirt, so folgt}$$

$$\varphi' - \varphi = r\left(\frac{a - a'}{aa'}\right);$$

setzt man die Aenderung der Entfernung des Beobachters $a - a' = d$, so ist die Aenderung der scheinbaren Grösse

$$\varphi' - \varphi = \frac{dr}{a\,(a - d)} \ldots (2),$$

d. h. bei derselben Ortsänderung d des Beobachters ist die Aenderung der scheinbaren Grösse bei näher liegenden Gegenständen grösser als bei entferntern, und wird unmerklich, wenn a sehr gross ist.

Anstatt die Dimension eines Gegenstandes kann r auch den scheinbaren Abstand zweier Gegenstände bezeichnen; daraus wird uns klar, weshalb sich Gegenstände einer Landschaft einander nähern, wenn wir uns von ihnen entfernen, und warum sie auseinander weichen, wenn wir uns nähern, und zwar desto mehr, je näher sie sind.

Das Zusammenlaufen der Reihen einer Allee, das Hinansteigen einer von einer Höhe betrachteten ebenen Strasse etc., sogenannte Sinnestäuschungen, sind also keine Täuschung der Sinne, sondern nur unseres Verstandes, insofern uns das Naturgesetz beim Urtheil nicht leitet.

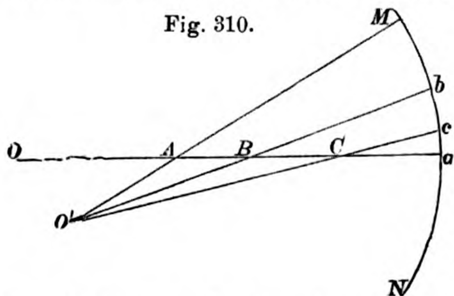


Fig. 310.

Den **Standort** eines **Gegenstandes** und somit auch seine Bewegung beurtheilen wir nach seiner Lage gegen uns und andere Körper, insbesondere gegen seinen **sphärischen** Hintergrund MN (Fig. 310), kommt der Beobachter von O nach O', so rücken die Gegenstände A, B, C, die früher sämmtlich auf dem Hintergrunde bei a sichtbar waren, nach M, b, c. Weiss der Beobachter nicht, dass er sich bewegt, so meint er, die Gegenstände bewegen sich.

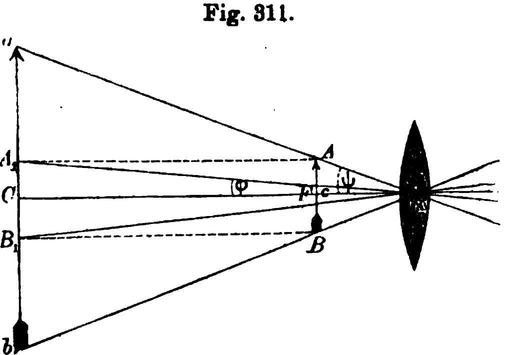
Die scheinbare Aenderung in der Lage eines von zwei verschiedenen Standorten O und O' beobachteten Gegenstandes A heisst man **Parallaxe**, und misst sie durch den Winkel $OAO' = MAa$. Man ersieht aus der Figur, dass die Parallaxe mit der Entfernung der Gegenstände immer kleiner wird.

§. 28. **Microscope.** Die Aufgabe der Microscope ist, kleine in unserer Nähe befindliche Gegenstände, deren einzelne Theile mit freien Augen nicht mehr unterschieden werden können, vergrössert und deutlich erscheinen zu lassen. Bei ganz kleinen Gegenständen hilft es nicht den Gesichtswinkel durch blosse Annäherung zu vergrössern, weil bei zu grosser Nähe des Gegenstan-

des die Strahlen sich nicht mehr auf der Netzhaut vereinigen und kein deutliches Bild erzeugen; man nimmt eine stark convexe Linse (Fig. 311), bringt sie in die gehörige Stellung, so dass das Auge das Bild deutlich wahrnimmt.

1. Das einfache Microscop besteht im Wesentlichen aus einer Sammellinse (Fig. 311). Der innerhalb der Brennweite $OF = p$ befindliche Gegenstand AB muss in der deutlichen Sehweite $OC = h$ des Beobachters erscheinen, um deutlich gesehen werden zu können. Mittelst der Linse erscheint der Gegenstand dem Auge unter dem Sehwinkel $2\psi = aOb$, während er in der deutlichen Sehweite dem unbewaffneten Auge nur unter dem Sehwinkel $2\varphi = A'OB'$ erscheinen würde. Aus der Gleichung (1) des §. 27 aber folgt, dass ein in derselben Entfernung befindlicher Gegenstand unter einem so vielmal grössern Sehwinkel erscheint, so vielmal grösser er ist; daher hat man nur den Sehwinkel des bewaffneten Auges durch den Sehwinkel des unbewaffneten zu dividiren, um die Vergrösserung zu erhalten, mithin

Fig. 311.



$$\frac{\psi}{\varphi} = \frac{ab}{AB} = \frac{h}{a};$$

aber h ist hier die negative Bildweite:

$$-\frac{1}{h} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a}, \text{ daraus } \frac{1}{a} = \frac{1}{p} + \frac{1}{h},$$

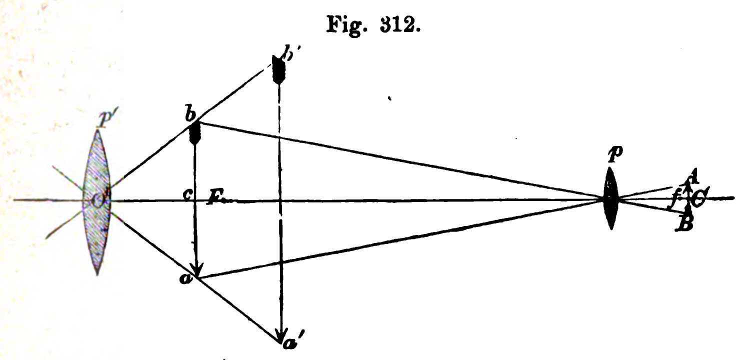
somit ist
$$\frac{ab}{AB} = \frac{h}{p} + 1 \ldots (1),$$

d. h. die lineare Vergrösserung ist bei derselben Sehweite des Beobachters desto grösser, je kleiner die Brennweite der Sammellinse ist. — Man verfertigt Linsen, deren Brennweite kleiner als eine Linie ist. Linsen aus Saphir, Rubin, Diamant und andern Edelsteinen eignen sich vorzüglich zu einfachen Microscopen. — Be-

trägt die Brennweite einer vergrössernden Linse mehr als einen halben Zoll, so heisst sie gewöhnlich Loupe.

2. Das **zusammengesetzte Microscop** (Fig. 312) besteht im Wesentlichen aus zwei Sammellinsen, einer Objectiv- und einer Ocularlinse. Die Objectivlinse erzeugt von einem ausserhalb ihrer Brennweite $p = Of$ liegenden Gegenstande AB ein vergrössertes Bild ab, welches innerhalb der Brennweite p' der verschiebbaren Ocularlinse fallend durch diese vergrössert und in der deutlichen Sehweite angeschaut wird.

Fig. 312.



Um die lineare Vergrösserung des Microscopes zu finden, untersucht man die Vergrösserung durch seine Bestandtheile. Die Objectivlinse vergrössert im Verhältnisse

$$\frac{ab}{AB} = \frac{Oc}{OC} = \frac{\alpha}{a};$$

die Ocularlinse als einfaches Microscop wieder für sich

$$\frac{a_1 b_1}{ab} = \frac{h}{p'} + 1,$$

daher ist im Ganzen die Vergrösserung

$$\frac{a_1 b_1}{AB} = \frac{\alpha}{a}\left(\frac{h}{p'} + 1\right) \ldots (2).$$

Nun kann die Entfernung a des Gegenstandes desto kleiner sein, je kleiner die Brenntweite p des Objectivs ist; mithin wächst die lineare Vergrösserung des zusammengesetzten Microscops, wenn die Brennweiten des Objectivs und des Oculars kleiner werden.

Um verschiedene Vergrösserungen zu bewirken, hat man entweder mehrere Oculare für dasselbe Objectiv oder mehrere Objec-

tive für dasselbe Ocular. Um dem Objectiv die nothwendige Stellung zum Objecte zu geben, muss das Instrument eine Einrichtung haben, welche eine Annäherung des Objectenträgers an das Objectiv oder umgekehrt gestattet.

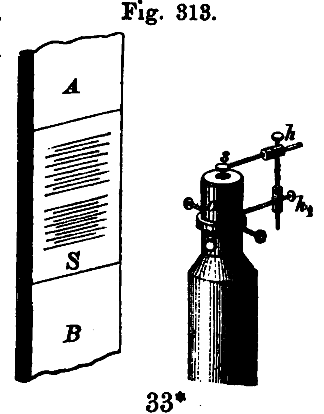
a) Da die Construction eines aplanatischen Objectivs wegen seiner kleinen Brennweite sehr schwierig ist, so wendet man Doppellinsen von grösseren Brennweiten an und erzielt eine sehr kleine Brennweite dadurch, dass man mehrere an einander schraubt; dazu kommt noch der Umstand, dass man die Oeffnung des Objectivs grösser lassen und daher bei gleicher Beleuchtung grössere Helligkeit haben kann, als wenn das Objectiv aus einer einzelnen sehr stark gekrümmten Linse bestände. Ist das vom Objectiv erzeugte Bild sehr deutlich und hell, so darf man es mit einem aplanatischen Ocular noch sehr stark vergrössern; aber auch hier braucht man zur leichteren Beseitigung der sphärischen Abweichung ein aus Linien von bester Form bestehendes Doppelocular, dessen Bestandlinsen kleinere Krümmungen und daher grössere Oeffnungen haben dürfen. Die dem Objectbilde zunächst liegende Bestandlinse heisst vorzugsweise Collectivlinse.

Bei allen dem muss die Objectivöffnung dennoch immer klein bleiben, und deshalb erhält man die gehörige Helligkeit erst durch eine Beleuchtung des Objectes mittelst eines Hohlspiegels. Und beim Hineinsehen ist es nöthig, das fremde Licht mit der Hand oder einem Schirme abzuhalten, wenn man deutlich sehen will.

b) Zur Prüfung der Deutlichkeit eines Microscops dienen Flügel der gemeinen Hausfliege, Schuppen von einem Schmetterlingflügel; an letzterem sieht man mit einem guten Microscope schon bei 60maliger Vergrösserung seine parallelen Streifen scharf von einander gesondert. Zur Vergleichung mehrerer Microscope unter einander eignet sich besonders die Nobert'sche Platte, auf der sich zehn Gruppen feiner Linien befinden, deren Abstände von 225 bis 1000 Millionstel einer Pariser Linie abnehmen. Die erste Gruppe muss ein gutes Microscop schon bei 50facher Vergrösserung in einzelnen Linien auflösen.

c) Die Vergrösserung lässt sich entweder nach der Gleichung *(2)* berechnen oder empirisch nach Jacquin mittelst des Sömmering'schen Spiegels (Fig. 313). Mittelst einer eigenen Fassung wird ein Metallspiegelchen *s* über der Ocularöffnung so befestigt, dass es einen Winkel von 45° mit der Axe des Rohres bildet. Unter das Objectiv legt man ein Micrometer, d. i. ein Glasgitter mit einer bekannten Eintheilung, und stellt hinter das Spiegelchen in die Sehweite ein verticales Brett AB mit einer Linienscala so auf, dass das vergrösserte Bild einer bestimmten Anzahl von Theilen des Mi-

Fig. 313.



crometers an der Scala gesehen wird. Bestimmt man die Anzahl der von dem Bilde der sichtbaren Micrometertheile bedeckten Scalentheile und dividirt die so an der Scala gemessene Länge des Bildes durch die wirkliche Länge der wahrgenommenen Micrometertheile, so gibt dieser Quotient die Vergrösserung an.

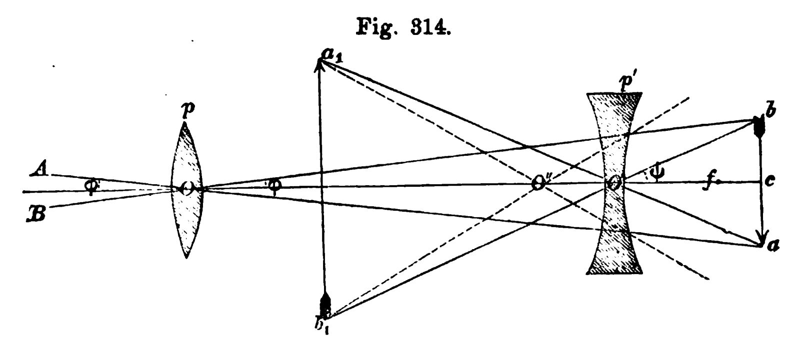
d) Da uns das Sonnenlicht nicht immer zu Gebote steht, so wendet man bei Projectionen microscopischer Bilder zum Ersatze das Drümmond'schem Kalklicht an. Wird das Sonnenlicht zur Beleuchtung angewendet, so nennt man das Microscop ein Sonnenmicroscop, mit Drümmond'schem Kalklichte aber Hydro Oxygengas-Microscop. In beiden Fällen wird das Licht von einer Sammellinse auf ein in ihrem Brennpunkte befindliches Object concentrirt und durch eine zweite stark vergrössernde Linse ein Bild des beleuchteten Objectes auf einen Schirm oder eine Wand projicirt. Zwei solche Microscope in abwechselnder Wirkung können die sogenannten Nebelbilder erzeugen, indem man das Licht des einen allmälig dämpft, das des andern aber verstärkt, wodurch ihre Bilder unmerklich in einander übergehen.

§. 29. **Fernröhre.** Durch diese optischen Instrumente sollen Bilder von entfernten Gegenständen, die mit dem Auge entweder gar nicht mehr oder undeutlich wahrgenommen werden, vergrössert und deutlich in die Sehweite gebracht werden. — Die kleinern Fernröhre nennt man Perspective, die grössern Tubuse oder Telescope. Bei allen wird von fernen Gegenständen nahe in der Brennweite des Objectivs ein Bild erzeugt, und das erzeugte Bild mit einem vergrössernden Ocular angesehen.

I. Die dioptrischen Fernröhre.

1. Das holländische oder Galiläische Fernrohr (Fig. 314). Die von den Endpunkten eines fernen Gegenstandes kom-

Fig. 314.



menden Strahlen A und B würden durch die Objectivlinse O nahe in ihrer Brennweite $p = Of$ zu einem Bilde ap vereinigt werden, wenn sie nicht früher auf eine Zerstreuungslinse O' fielen, deren

Brennweite $p' < O'c$; dadurch werden die Strahlen divergirend und gelangen dergestalt in das Auge, als kämen sie von dem aufrecht stehenden Bilde $a_1 b_1$.

Wir behalten die beim Microscope angegebene Bedeutung der Sehwinkel ψ und φ bei und suchen die Vergrösserung $\frac{\psi}{\varphi}$. Wegen der Kleinheit der Winkel ist

$$ab = 2\varphi \cdot p \text{ und auch } ab \text{ nahe} = 2\psi \cdot p',$$

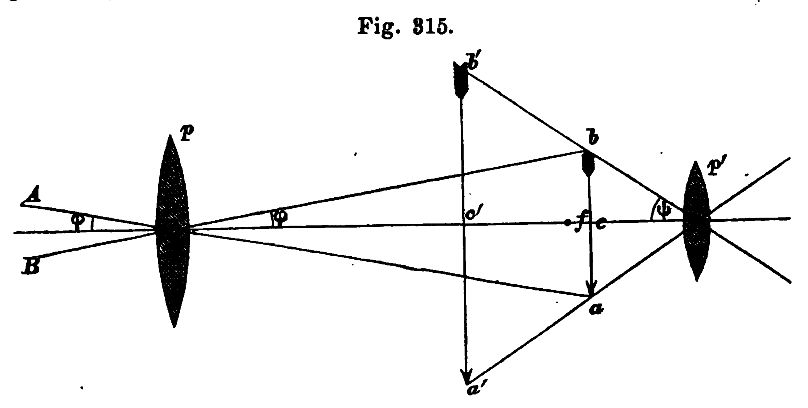
mithin die Vergrösserung

$$\frac{\psi}{\varphi} = \frac{p}{p'},$$

d. h. die Vergrösserung ist nahezu gleich der Brennweite des Objectivs dividirt durch die Brennweite des Oculars. — Es kann also die Objectivöffnung weit sein, was zur Helligkeit sehr nothwendig ist. — Die Länge dieses Fernrohrs beträgt $L = p - p'$. Man sieht aus der Figur, dass sich die Randstrahlen in dem Punkte O'' hinter dem Oculare schneiden, daher erscheint das Gesichtsfeld klein, weil das Auge nicht in O'' sein kann; das geringe Gesichtsfeld ist auch die Ursache, dass man nur eine geringe Vergrösserung nehmen darf, daher fällt auch das Instrument kurz aus und eignet sich zu Taschen- und Theaterperspectiven.

Plössl in Wien verfertigt vorzügliche Galiläische Fernröhre, sogenannte Feldstecher, mit mehreren Ocularen, die eine 4 bis 20malige Vergrösserung gestatten.

Fig. 315.



2. Das astronomische oder Kepler'sche Fernrohr (Fig. 315). Das vom Objectiv O erzeugte umgekehrte Bild ab

eines sehr fernen Gegenstandes, wird durch ein vergrösserndes Ocular in der deutlichen Sehweite $O'c'$ betrachtet. Bedenkt man, dass das Bild ab in der Brennweite p des Objectivs erzeugt wird und dass ab innerhalb der Brennweite p' des Oculars liegt, so hat man

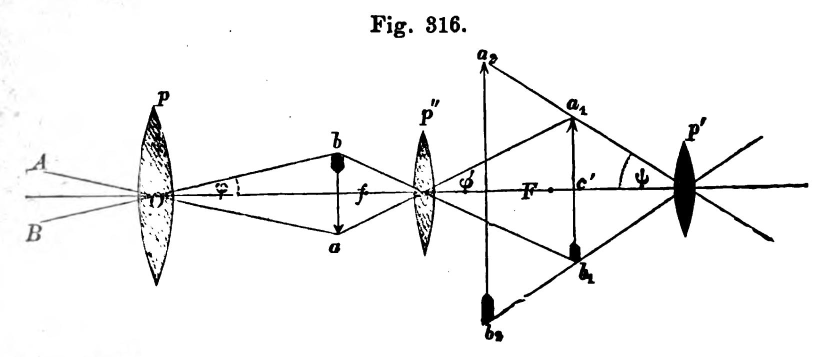
$$ab = 2\varphi \cdot p \text{ und } ab \text{ nahe} = 2\psi \cdot p',$$

mithin die Vergrösserung $\frac{\psi}{\varphi} = \frac{p}{p'}$,

d. h. die lineare Vergrösserung (nur diese gibt man an) eines astronomischen Fernrohrs ist nahezu gleich dem Quotienten aus der Brennweite des Objectivs in die Brennweite des Oculars.

Die Länge dieses Fernrohres ist $L = p + p'$. Die Anforderung der Vergrösserung wird auf zweifache Art befriedigt, entweder durch Vergrösserung von p oder durch Verkleinerung von p'. Da die Oeffnung des Objectivs wegen der Helligkeit gross sein soll, so muss man dem Objectiv kleine Krümmungen geben, damit es aplanatisch erscheint und das Ocular auch einen Theil Vergrösserung übernehmen darf; in früheren Zeiten, wo man noch keine aplanatischen Objective ausführen konnte, durfte man auf eine Vergrösserung durch das Ocular nicht rechnen, da diese die Abweichungen vergrössert hätte, und musste nur sehr schwache Krümmungen, folglich Objective von sehr grosser Brennweite nehmen und erhielt so die Riesentelescope oder Refractoren der alten Sternwarten, die oft an 100 Fuss Länge hatten. — Im Brennpunkte des Objectivs ist zur Fixirung der optischen Axe behufs genauer Messungen ein Fadenkreuz angebracht.

Fig. 316.



3. Das Erdfernrohr (Fig. 316) unterscheidet sich vom astronomischen wesentlich dadurch, dass in demselben eine mitt-

lere Sammellinse von der Brennweite p'' zur Aufrechtstellung des Bildes angebracht ist. Die Gegenstands- und Bildweite dieser Linse seien a und α. — Die Vergrösserung ist wieder $\frac{\psi}{\varphi}$, aus

$$a_1 b_1 = 2\varphi p' = 2\varphi' a, \text{ folgt } \frac{\psi}{\varphi'} = \frac{a}{p'},$$

und aus $\quad ab = 2\varphi \,.\, p = 2\varphi' \,.\, a$ folgt $\frac{\varphi'}{\varphi} = \frac{p}{a}$,

mithin ist die lineare Vergrösserung

$$\frac{\psi}{\varphi} = \frac{\alpha p}{ap'} = \frac{pp''}{p'\,(a - p'')},$$

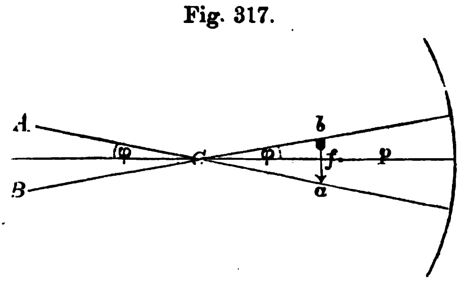
für $a = 2p''$ ist $\frac{\psi}{\varphi} = \frac{p}{p'}$ wie bei dem astronomischen Fernrohre.

Sowohl die mittlere Linse p'' als das Ocular werden bei vollkommener Einrichtung des Instrumentes durch zwei planconvexe Linsen ersetzt, und gewöhnlich in einer unveränderlichen Verbindung in die verschiebbare Ocularröhre eingesetzt.

Bei allen Fernröhren fordert die Vergrösserung kleinere Krümmungen des Objectivs, es kann demnach der Aplanatismus leichter erzielt und darf eine grössere Oeffnung gelassen werden, durch die mehr Licht von dem Gegenstande aufgenommen und die Helligkeit unterstützt wird. Darin besteht der Hauptunterschied zwischen Fernröhren und Microscopen.

II. Die katoptrischen Fernröhre haben zum Objectiv einen sorgfältig ausgearbeiteten metallenen Hohlspiegel, der von dem zu betrachtenden Gegenstande in seiner Brennweite p (Fig. 317) ein umgekehrtes Bild erzeugt, welches man in einem dunklen Raume mittelst eines gewöhnlichen Oculars ansieht.

Fig. 317.



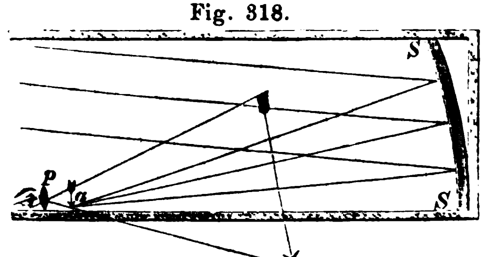
Das Bild des fernen Gegenstandes erscheint in der Brennweite, also im halben Krümmungs-Halbmesser, daher ist $ab = 2\varphi p$. Hat das Ocular die Brennweite p' und zeigt es das nahe an

seinem Brennpunkte liegende Bild unter dem Sehwinkel ψ, so ist auch $ab = 2\psi . p'$, daher die lineare Vergrösserung wieder

$$\frac{\psi}{\varphi} = \frac{p}{p'}.$$

Fig. 318 stellt das Herschel'sche Telescop dar, bei dem das Bild am Rande des Rohres in p angeschaut wird. — Newton liess in seinem Fernrohre das vom Hohlspiegel erzeugte Bild durch einen Planspiegel gegen ein in der Seitenwand angebrachtes Ocular reflectiren. Das Herschel'sche Fernrohr hatte $\frac{\psi}{\varphi} = 7000$, brachte 36500mal mehr Licht in's Auge als ohne Fernrohr, mit ihm konnte man daher Sterne der Milchstrasse scharf von einander unterscheiden, und viele Nebelflecke auflösen. — Das Gregory-sche Fernrohr erzielte durch einen kleinen Hohlspiegel die Aufrechtstellung des Bildes und eignete sich zur Betrachtung irdischer Gegenstände; es wurde von Cassagrain verbessert.

Fig. 318.



a) Die katoptrischen Telescope, auch Reflectoren genannt, haben vor dioptrischen den Vorzug, dass die Farbenzerstreuung bei ihren Objectiven ganz wegfällt und die sphärische Abweichung kleiner ist als bei Objectivlinsen von derselben Oeffnung und Brennweite. Daher construirte man sie vorzüglich vor der Erfindung achromatischer und aplanatischer Linsen. Sie sind aber schwerer zu handhaben als dioptrische und die Spiegelpolitur leidet an der atmosphärischen Luft.

b) Zur Prüfung der Deutlichkeit der Fernröhre überhaupt eignen sich vorzüglich Himmelskörper zur Nachtzeit. Ihr Bild muss hell, rein, scharf begrenzt und mit farblosem Rande erscheinen, mag es sich in der Mitte des Gesichtsfeldes oder am Rande befinden; ein Doppelstern muss in seine Theile zerlegt erscheinen. — Die Vergrösserung wird entweder aus den bekannten Brennweiten berechnet, oder durch praktische Methoden gefunden, von denen besonders die der Jacquin'schen bei Microscopen analoge häufig angewendet wird. Man bringt vor das Ocular einen kleinen ebenen, um 45° gegen die Axe des Rohres geneigten Spiegel, stellt hinter denselben in die deutliche Sehweite eine Linienscala und eine eben solche vor das Objectiv in die Entfernung a, so sieht der Beobachter letztere auf ersterer projicirt und findet leicht, wie viele Theile der direct gesehenen Scala von einem Theile des Bildes bedeckt

werden. Bezeichnet r die absolute Grösse eines Theiles der Scala, so ist der Sehwinkel mit dem freien Auge

$$\varphi = \frac{r}{a};$$

und hat dieser Theil im Bilde die Grösse R in der deutlichen Sehweite h, so ist der Sehwinkel

$$\psi = \frac{R}{h},$$

mithin

$$\frac{\psi}{\varphi} = \frac{R \, . \, a}{r \, . \, h}$$

die gesuchte Vergrösserung.

Am einfachsten erhält man annäherungsweise die Vergrösserung, indem man ein entferntes Ziegeldach durch das Fernrohr beobachtet und schätzt, wie viel der mit freiem Auge gesehenen Ziegel auf einen im Fernrohr gesehenen gehen.

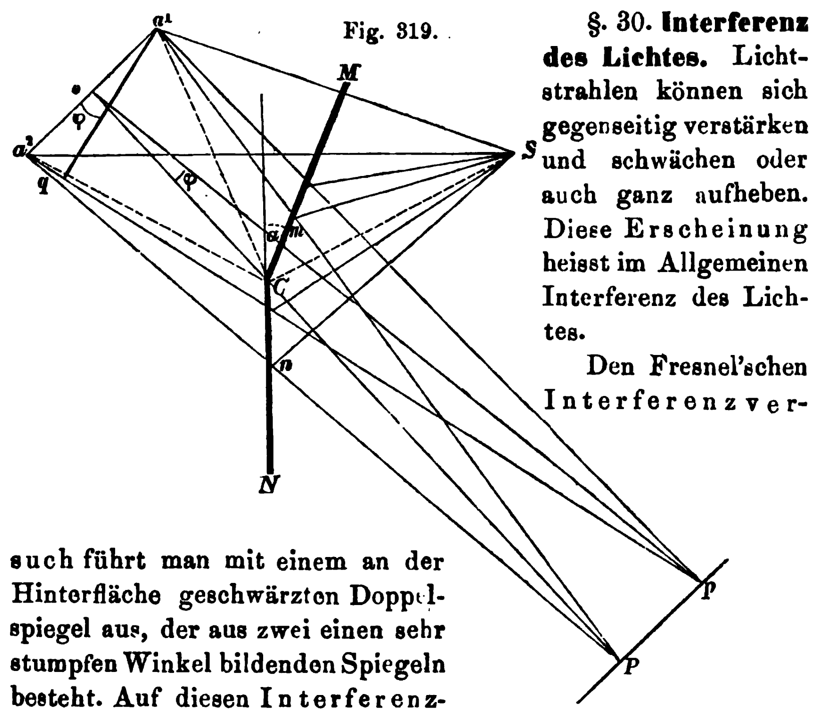


Fig. 319.

§. 30. **Interferenz des Lichtes.** Lichtstrahlen können sich gegenseitig verstärken und schwächen oder auch ganz aufheben. Diese Erscheinung heisst im Allgemeinen Interferenz des Lichtes.

Den Fresnel'schen Interferenzversuch führt man mit einem an der Hinterfläche geschwärzten Doppelspiegel aus, der aus zwei einen sehr stumpfen Winkel bildenden Spiegeln besteht. Auf diesen Interferenzspiegel (Fig. 319) leitet man durch eine enge verticale Spalte homogenes Sonnenlicht und erhält in ihm zwei leuchtende nahe aneinander liegende Bilder a_1 und a_2, von denen die nach der Reflexion in einem Punkte zusammentreffenden Strahlen herzukom-

men scheinen und sich daher unter einem sehr kleinen Winkel schneiden, z. B. bei P oder p. Ist der Schirm, an welchem man die Interferenzerscheinung beobachtet, in einer beträchtlichen Entfernung, so kann man die daselbst zusammentreffenden Strahlen nahezu als parallel annehmen. Nach der Undulationstheorie müssen sich die homogenen (gleiche λ) Strahlen (wie in der Akustik gezeigt) verstärken, wenn ihr Gangunterschied $\delta = 2n . \frac{\lambda}{2}$, hingegen aber aufheben, wenn $\delta = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$ beträgt.

Im ersten Falle wird grössere Helligkeit, im zweiten aber wird durch zwei Lichtstrahlen Dunkelheit erzeugt.

Diese Erscheinung beobachtet man an dem Schirme vor dem Interferenzspiegel und zwar genau so, wie sie sich aus der Wellenbewegung ergibt.

Untersuchen wir die Wege, welche die in P und p zusammentreffenden Strahlen zurückgelegt haben. Es sei o der Halbirungspunkt der Linie $a_1 a_2$ und oP die gerade durch die Berührungskante beider Spiegeln gehende Linie. Berücksichtigt man, dass $Sm = a_1 m$, $Sn = a_2 n$ und ebenso auch $SC = a_1 C = a_2 C$ ist, so ersieht man, dass das Dreieck $a_1 C a_2$ gleichschenkelig ist und somit oP auf $a_1 a_2$ senkrecht steht, und ferner die Dreiecke $a_1 oP$ und $a_2 oP$ congruent sind. Mithin sind die Linien $a_1 P = a_2 P$, und eben deshalb auch die Wege der in P auffallenden Strahlen $Sm + mP = Sn + nP$ einander gleich. Also ist in P der Gangunterschied $\delta = o$, also P hell.

Die in einem Punkte p zusammentreffenden Strahlen haben aber einen Gangunterschied $\delta = a_2 q$, wenn $a_1 p = qp$ ist. — Um δ genauer zu bestimmen, bezeichnen wir den Winkel Pop mit φ, so ist auch $\sphericalangle a_2 a_1 q = \varphi$, und da $a_1 q$ als ein mit $a_1 p$ beschriebener kleiner Bogen auf $a_2 p$ senkrecht steht, so ist $a_2 q = \delta = a_1 a_2 \sin \varphi$; und $Pp = Po. tg\varphi$. Wird $a_1 a_2 = b$, $Po = c$ und $Pp = d$ gesetzt, so kann man wegen der Kleinheit der Winkel schreiben

$$\delta = b . \varphi, \; d = c . \varphi, \; \text{mithin } d = \frac{c\delta}{b} \ldots (1).$$

Aus der Gleichung (1) ergibt sich für die hellen Streifen

$$d = o, \frac{c\lambda}{b}, \frac{2c\lambda}{b}, \frac{3c\lambda}{b} \ldots \frac{2n\lambda c}{2b},$$

und für die dunklen

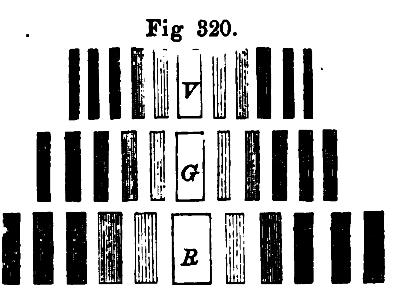
$$d' = \frac{c\lambda}{2b}, \frac{3c\lambda}{2b}, \frac{5c\lambda}{2b}, \frac{7c\lambda}{2b} \ldots \frac{(2n+1)c\lambda}{2b};$$

daraus ersieht man auch, dass der Abstand a zweier heller oder dunkler Streifen von einander gleich $\frac{c\lambda}{b}$ ist.

Im Punkte P entsteht also ein intensiv heller Streifen, der zu beiden Seiten von einem dunklen begrenzt wird, dann folgen seitwärts helle und dunkle Streifen abwechselnd im Abstande $\frac{a}{2}$ auf einander. Der Uebergang von einem hellen Streifen in einen dunklen ist ein allmäliger, weil sich auch der Gangunterschied nur allmälig ändert. Den Abstand a zweier benachbarten dunkelsten Linien nennt man ein Spectrum.

a) Die Breite der Spectra $a = \frac{c\lambda}{b}$ wächst bei homogenem Lichte, das eine unveränderliche Wellenlänge λ hat, mit der Entfernung c des Schirmes vom Interferenzspiegel und mit der Vergrösserung ihres stumpfen Winkels. Da aber die Wellenlänge verschiedenfarbiger Strahlen verschieden gross ist und zwar am kleinsten bei den violetten, und am grössten bei den rothen, so ist die Breite rother Spectra am grössten, die violetter am kleinsten. Fällt daher weisses Sonnenlicht auf den Spiegel, so bildet jede Farbengattung desselben parallele Spectra (Fig. 320); P, wo alle Farbengattungen zusammenfallen, erscheint weiss, seitwärts aber decken sich theilweise die ungleich breiten Spectra und erzeugen gemischte Farben, die zunächst an P von violetten und gegenüber von rothen Säumen begrenzt sind.

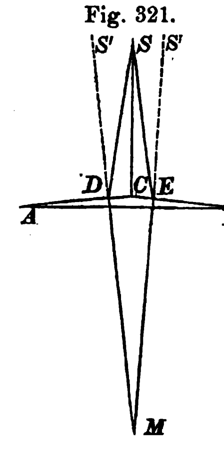
Fig 320.



b) Oft bedient man sich zum Ansehen der Interferenz-Erscheinung einer guten Loupe, mit der man die interferirenden Strahlen auffängt. Dieses geschieht, wenn man statt des Inferferenzspiegels sich der Interferenzprisma (Fig. 321) bedient. Hat das Prisma sehr kleine brechende Winkel A und B,

so treffen sich die von S kommenden Strahlen DM und EM etc. unter einem sehr kleinen Winkel und rufen eine Interferenz-Erscheinung hervor.

Fig. 321.

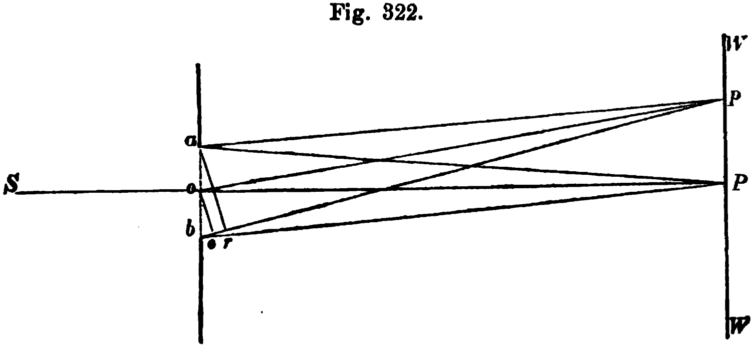


c) Aus dem Ausdrucke $a = \frac{c\lambda}{b}$ ersieht man, dass die Wellenlänge λ jeder Farbe berechnet werden kann, wenn man die Breite der Spectra a für diese Farbe und c und b gemessen hat

§. 31. Beugung des Lichtes durch enge Spalten. 1. Lässt man durch eine schmale Spalte im Fensterladen homogenes Licht in ein verfinstertes Zimmer eintreten und durch eine zweite mit der ersten parallele enge Spalte ab (Fig. 322) durchgehen, so erblickt man auf einer hinter der zweiten Spalte stehenden Wand an jeder Seite des Bildes der Spalte eine Reihe von Interferenzstreifen.

Um diese Interferenz-Erscheinung zu erklären, bedenken wir, dass die Aethertheilchen zwischen der zweiten Spalte ab

Fig. 322.



von der eingelassenen Planwelle gleichzeitig zur Schwingung angeregt werden. Jedes Theilchen in ab bildet den Mittelpunkt neuer Lichtwellen, demnach gehen von jedem Punkte der Spalte gleichzeitig Wellen und folglich auch Lichtstrahlen nach allen Richtungen aus. Ist die Wand oder der Schirm Ww einige Klafter entfernt, so kann man die in P und p zusammentreffenden Strahlen selbst dann noch als parallel ansehen, wenn sie von den Rändern der schmalen Spalte herkommen. Man sieht aus der Figur, dass in P kein Gangunterschied stattfindet, folglich entsteht dort das helle Bild der Spalte, aber an jeder seitwärts gelegenen Stelle,

z. B. p ist ein Gangunterschied $\delta = br$ vorhanden und gibt Veranlassung zur Interferenz. — Ist o der Mittelpunkt der Spalte, so ist für einen Rand- und für einen mittleren Strahl $\delta_1 = be = \frac{br}{2}$, und dieser Gangunterschied findet der Reihe nach für alle zwischen bo und oa befindlichen Strahlen statt. Ist daher $\delta_1 = 2n \frac{\lambda}{2}$, so ist in p ein heller, ist $\delta_1 = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$ aber ein dunkler Streifen.

Bezeichnet man den Winkel Pop mit φ, oP mit c, Pp mit d, und die Breite der Spalte ab mit b, so ist

$$\delta = b \sin \varphi \text{ und } d = c \,.\, \text{tang} \,.\, \varphi,$$

mithin sehr nahe $\quad d = \frac{c \,.\, \delta}{b} \ldots (1).$

Bedenkt man, dass $\delta = 2\delta_1$ ist, so hat man für die hellen Streifen

$$d = o,\ \frac{4\lambda}{2} . \frac{c}{b},\ \frac{8\lambda}{2} . \frac{c}{b} \ldots,\ 2 . \frac{2n\lambda}{2} . \frac{c}{b},$$

und für die dunklen

$$d' = \frac{2\lambda}{2} . \frac{c}{b},\ \frac{6\lambda}{2} . \frac{c}{b},\ \frac{10\lambda}{2} . \frac{c}{b} \ldots,\ 2 . \frac{(2n+1)\lambda}{2} . \frac{c}{b}.$$

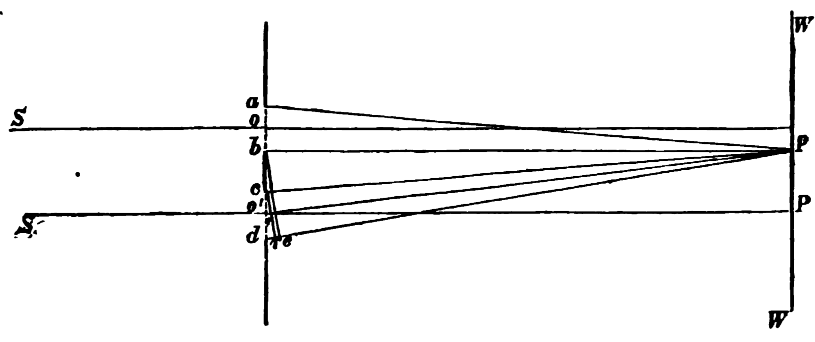
Die Breite der Spectra ist also hier $a = \frac{2c\lambda}{b}$, und die hellsten Linien wechseln mit den dunkelsten im Abstande $\frac{a}{2}$. Man erblickt also zu beiden Seiten des Bildes der Spalte eine abwechselnde Folge von hellen und dunklen Streifen, wie bei den früher angeführten Interferenz-Erscheinungen. Mit der Entfernung von P nimmt aber die Intensität nach ihrem Gesetze ab und die Interferenz-Erscheinung verliert sich allmälig zu beiden Seiten hin.

a) Auch hier ist bei gleichem Abstande c und derselben Breite b der Spalte die Breite der Spectra von der Wellenlänge des Lichtes abhängig, daher ist bei der Anwendung des weissen Sonnenlichtes nur in der Mitte P ein weisser Streifen, während sich zu beiden Seiten parallele Streifen mit prismatischen Farben zeigen.

b) **Wellenlänge.** Aus der Lage des **ersten** dunklen Streifens ergibt sich $\lambda = \frac{b \cdot d'}{c}$ als Wellenlänge des benützten homogenen Lichtes. Wie man aus der Figur erkennt, lassen sich die Grössen b, c und d' messen. So hat Fraunhofer zuerst die Wellenlänge bestimmt. Für die dunkle Linie B im Roth ist $\lambda = 0{\cdot}0006897^{mm}$ für $H \ldots = 0{\cdot}0003963^{mm}$. Die Schwingungszahl aber ist für die mittlern rothen 456, für die mittlern violetten 667 Billionen per Secunde. Im Sinne der Akustik stellt das sichtbare Spetrum nicht ganz eine Octav vor.

2. Lässt man das durch die Oeffnung im Fensterladen eindringende Licht durch **zwei** gleich breite Spalten (Fig. 323), die um eine Spaltenbreite von einander entfernt sind, hindurchgehen, so sieht man auf einem in gehöriger Entfernung befindlichen Schirme oder mittelst eines hinter den Spalten aufgestellten Fernrohres mehrere näher an einander liegende Spectra entstehen, als

Fig. 323.



durch eine Spalte allein. — Behält man die angenommene Bezeichnung bei und bemerkt, dass der Gangunterschied $\delta' = de$ zwischen den Randstrahlen dp und bp auch der Reihe nach für je zwei von d und b gleichweit abstehende Strahlen besteht, so erscheinen wieder die Stellen mit $\delta' = 2n\,\frac{\lambda}{2}$ **hell**, jene mit $\delta' = (2n + 1)\,\frac{\lambda}{2}$ aber **dunkel**. — Bezeichnet man noch dr mit δ, wo $\delta = \frac{\delta'}{2}$, so hat man, wie vorhin in der Gleichung *(1)*

$$d = \frac{c\delta}{b} = \frac{c\delta'}{2b} \ldots (2),$$

daraus erhält man für die Abstände der hellen Streifen von P

$$d = o, \frac{c\lambda}{2b}, \frac{2c\lambda}{2b}, \frac{3c\lambda}{2b} \ldots, \frac{c}{2b} \cdot \frac{2n\lambda}{2},$$

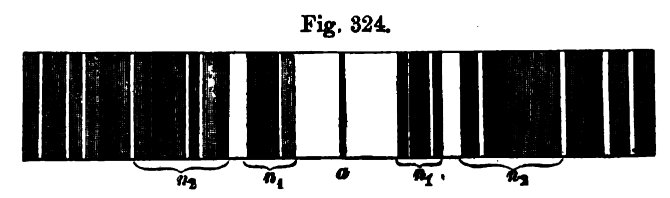
und für die dunklen

$$d' = \frac{c\lambda}{4b}, \frac{3c\lambda}{4b}, \frac{5c\lambda}{4b} \ldots, \frac{c}{2b} \cdot (2n + 1) \frac{\lambda}{2};$$

mithin beträgt jetzt die Breite der Spectra nur $\frac{2c\lambda}{4b} = \frac{a}{4}$, d. i. den vierten Theil der Breite bei einer Spalte. Diese kleinern Spectra nennt man secundäre oder Spectra zweiter Klasse.

a) Gitterspectra. Obwohl hier die Berechnung nur annäherungsweise durchgeführt ist, so ersieht man die Ursache der Bildung der Spectra im Allgemeinen und ihre rasche Vermehrung mit Zuhilfenahme zweier und analog auch mehrerer Oeffnungen. Rücksichtlich des weissen Lichtes gilt überall das Gesetz der farbigen Streifen. Wird die Breite der Spaltöffnungen sehr eng, folglich b sehr klein und die Entfernung c des Schirmes oder die Brennweite des Objectivs des verwendeten Fernrohrs gross, so erreichen die Spectra eine bedeutende Breite, wodurch die Farben des Spectrums immer mehr gesondert und reiner auftreten. — Von besonderm Interesse ist die Beugung des Lichtes

Fig. 324.



durch ein Gitter, welches aus sehr vielen einander gleichen und gleich weit abstehenden Spaltöffnungen besteht. Setzt man ein solches Gitter vor ein nach einer Lichtlinie gerichteest Fernrohr, so dass die Oeffnungen desselben zu dieser Lichtlinie parallel stehen, so beobachtet man im homogenen Lichte, wenn das Fernrohr so eingestellt ist, dass man ohne Gitter die Lichtlinie in der Mitte des Gesichtsfeldes deutlich wahrnimmt, das unveränderte Bild dieser Lichtlinie und zu beiden Seiten eine Reihe gleich weit von einander abstehender und durch dunkle Zwischenräume von einander getrennter heller Streifen. — Bei Anwendung des weissen Sonnenlichtes sieht man wieder die Lichtlinie in der Mitte des Gesichtsfeldes wie ohne Gitter, auf jeder Seite derselben aber einen völlig dunklen Raum, an den sich ein Farbenbild anschliesst, wie man es durch Zerlegung des weissen Lichtes durch ein Prisma erhält (Fig. 324); hierauf folgt wieder ein dunkler Raum und hinter ihm eine Reihe sich schon

theilweise deckender Farbenbilder. In den lebhaftesten der Mitte am nächsten liegenden Farbenbildern sieht man die Fraunhofer'schen schwarzen Linien. — Noch schöner ist die Erscheinung, wenn man zwei sehr genau geritzte Gitter so über einander legt, dass sich die Spaltöffnungen rechtwinkelig durchkreuzen.

Sieht man auf eine Kerzenflamme und schliesst die Augen so zu, dass die Lichtstrahlen zwischen den einander genäherten Augenwimpern durchgehen, so erblickt man ein durch Beugung entstandenes Interferenzphänomen mit farbigen Streifen.

b) Denkt man sich bei einer Spalte (Fig. 322) ein sie begrenzendes Wandstück, z. B. *b*, ganz weg, so stellt uns der noch vorhandene Theil der Wand einen dunklen Körper oder Schirm vor, dessen Rand *a* von Lichtstrahlen, die senkrecht gegen den Schirm gerichtet sind, getroffen wird. Während wir früher auf beiden Seiten von *P* Spectra beobachteten, wird jetzt der eine Theil direct beleuchtet und folglich keine Streifen zeigen, während in dem andern hinter der gebliebenen Wand noch die Bedingungen zur Interferenzbildung wie früher vorhanden sind, denn durch die Wegnahme der Seitenwand *b* ist in den zwischen *a* und *b* entstehenden Elementarwellen keine Veränderung vorgegangen. Es erscheint demnach in dem dunklen Raume hinter einem undurchsichtigen Schirme seitwärts von der Linie, welche den geometrischen Schatten begrenzt, eine Reihe von hellen und dunklen Streifen, die im vollen Sonnenlichte als gefärbte Streifen hervortreten.

Denkt man sich aber bei zwei Spalten (Fig. 323) die beiden Seitenwandstücke *a* und *d* weg und behält nur das enge Wandstückchen *bc*, so hat man den Fall vor sich, wo Lichtstrahlen an den Rändern eines schmalen undurchsichtigen Körpers *bc* vorbeigehend hinter demselben ein Interferenz-Phänomen erzeugen, denn so wie in dem vorigen Falle bestehen auch hier die Bedingungen der Streifenbildung fort.

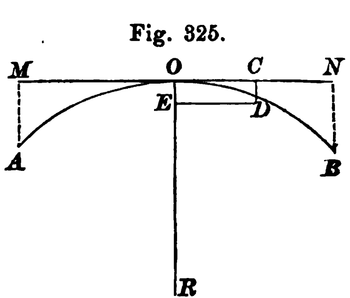
Dahin gehört das herrliche Farbenspiel, das man oft unter einem Baume beobachtet, wenn die Sonnenstrahlen durch kleine Lauböffnungen durchgehen. Eine Messerklinge so gegen eine Kerzenflamme gehalten, dass sie dieselbe dem Auge verdeckt, zeigt an den Rändern farbige Streifen. Ein von dem in's dunkle Zimmer eingelassenen Sonnenstrahle beleuchteter feiner gerader Metalldraht gibt auf einer entfernten Tafel einen erweiterten Schatten, und man beobachtet sowohl ausserhalb als innerhalb des Schattenraumes farbige Streifen.

c) Bei der Reflexion an gestreiften und spiegelnden Oberflächen erfolgt auch ein den Beugungs-Erscheinungen ähnliches Farbenspiel. Jeder schmale spiegelnde Streifen kann nämlich als eine feine Oeffnung angesehen werden, durch welche Licht von einer hinter ihr befindlichen Lichtquelle gegangen ist, denn das Licht wird gerade so reflectirt, als käme es von einem Punkte hinter der spiegelnden Fläche. Daher beobachtet man auf einem aus Blattgold auf Planglas gemachten Gitter bei geneigter Stellung im reflectirten Lichte dasselbe Beugungsphänomen wie in dem durchgegangenen.

Die durch Reflexion des Lichtes entstehenden Interferenzphänomene nimmt man an Körpern wahr, an deren glatten Oberfläche feine Furchen vorkommen, wie z. B. bei Perlmutter, an Irisknöpfen. Darauf beruht das Schillern matter Fensterscheiben, der Flügeldecken von Insekten und die an vielen andern Körpern auftretenden Farben, wenn diese dem directen Sonnenlichte ausgesetzt werden.

§. 32. **Farben dünner Blättchen.** a) Legt man auf ein convexes Glas von grossem Krümmungs-Halbmesser ein Planglas (Fig. 325), so berühren sich die beiden Gläser nur in einem Punkte O, rings herum aber bleibt zwischen ihnen eine dünne Luftschichte, die in gleichen Abständen von O gleich dick ist. Diese Vorrichtung heisst das Newton'sche Farbenglas und zeigt im weissen Lichte eine Reihe concentrischer Farbenringe um den Berührungspunkt O. Wird aber das Farbenglas mit homogenem Lichte erleuchtet, so sieht man sowohl im reflectirten als auch im durchgelassenen Lichte eine Reihe von hellen und dunklen concentrischen Ringen. Der Berührungspunkt erscheint im reflectirten Lichte schwarz, im durchgelassenen weiss. Genaue Messungen lehren, dass im reflectirten Lichte die Quadrate der Halbmesser der hellen Ringe wachsen wie die ungeraden Zahlen, und jene der dunklen Ringe wie die geraden Zahlen; im durchgelassenen Lichte findet das Gegentheil statt. Ist OR der Krümmungs-Halbmesser R, $OC = r$ der Halbmesser eines Ringes, $CD = x = OE$ die Dicke der Schichte im Abstande r, so ist

Fig. 325.



$$r^2 = (2R - x)\,x,$$

und weil x^2 im Vergleich zu $2Rx$ sehr klein ist und vernachlässigt werden kann, so ist

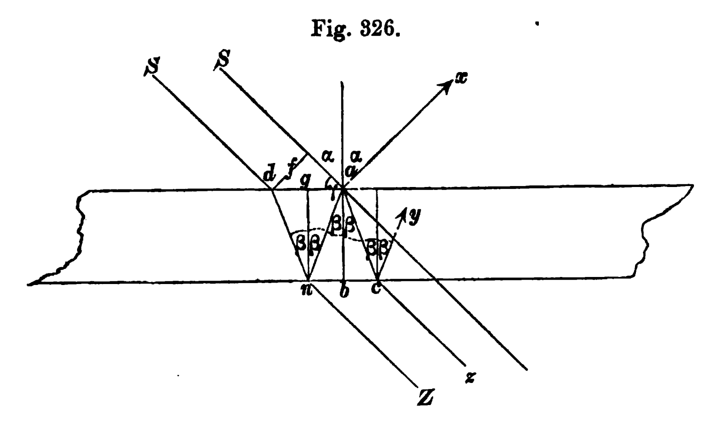
$r^2 = 2Rx$. Mithin verhalten sich

$$r^2 : r_1^{\,2} : r_2^{\,2} : \ldots = x : x_1 : x_2 : \ldots$$

Mit Rücksicht auf obige Messungen schliessen wir daraus, dass die Ringbildung von der Dicke der Schichten abhängig ist.

b) Um die Farbenerscheinung an dünnen Körpern zu erklären, nehmen wir ein dünnes Blättchen (Fig. 326) an, das von parallelen Ebenen begrenzt ist und von parallelen homogenen Strahlen

Fig. 326.



getroffen wird. Ein Theil von dem Strahle *Sa* wird in der Richtung *ax* reflectirt, der andere in der Richtung *ac* gebrochen; der gebrochene Theil erleidet in *c* abermals eine Theilung, indem ein Theil nach *y* reflectirt, der andere in der Richtung *cz* als gebrochener Strahl aus dem Blättchen heraustritt. Zieht man eine gegen das Einfallsloth in *a* unter den Winkel β geneigte Linie *an*, dann das Einfallsloth *gn*, endlich *dn* parallel mit *ac*, so ist *Sd* derjenige einfallende Strahl, von dem ein Theil nach der Reflexion in *n* bei *a* in der Richtung *ax* heraustritt und mit dem in *a* reflectirten Antheil des Strahles *Sa* daselbst interferirt, während ein anderer Theil desselben nach zweimaliger Reflexion und Brechung in der Richtung *cz* aus dem Blättchen tritt und mit dem gebrochenen Antheile von *Sa* daselbst interferirt etc.

Um das Resultat der Interferenz in *ax* und *cz* allgemein zu berechnen, suchen wir den Gangunterschied der daselbst zusammentreffenden Strahlen.

Young erklärte zuerst diese Farbenerscheinung mittelst der Annahme, dass eine Lichtwelle bei der Reflexion an der Ueber-

gangsstelle in ein schwächer brechendes Mittel um eine halbe Wellenlänge verzögert werde. — Für longitudinale Wellen haben wir die Verzögerung in der Akustik kennen gelernt.

Jede Reflexion an der innern Fläche erzeugt also einen Gangunterschied von einer halben Wellenlänge.

Bezeichnen wir mit λ die Wellenlänge, mit d den Gangunterschied und nehmen wir der Einfachheit halber an, es fände keine andere Verzögerung im Blättchen statt als die durch Umkehrung der Wellen entstandene.

Ein Theil des Strahles Sd tritt bei a so aus, als hätte er den Weg $s = 2dn + \frac{\lambda}{2}$, der andere Theil aber bei c so aus, als hätte er den Weg $s_1 = 3dn + 2 \cdot \frac{\lambda}{2}$ im Blättchen zurückgelegt. Der Theil des Strahles Sa hingegen, der in a reflectirt wird, erleidet keine solche Verzögerung. Im reflectirten Lichte ax beträgt also der Gangunterschied $\delta = s = 2dn + \frac{\lambda}{2}$.

Der gebrochene Theil des Strahles Sa aber macht den Weg $ac = dn$ zugleich mit, daher beträgt im durchgelassenen Lichte cz der Gangunterschied $\delta_1 = s_1 - dn = 2dn + \frac{2\lambda}{2}$.

Angenommen, es sei der Weg $dn = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \ldots$ so beträgt im reflectirten Lichte der Gangunterschied

$$\delta = \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \ldots$$

d. h. an solchen Stellen wird das reflectirte Licht heller, weil sich in diesem Falle die Wellen verstärken.

Im durchgelassenen Lichte aber beträgt für dieselben Stellen der Gangunterschied $\delta_1 = 3 \cdot \frac{\lambda}{2}, 5 \cdot \frac{\lambda}{2}, 7 \cdot \frac{\lambda}{2}, \ldots$ d. h. das durchgelassene Licht wird an denselben Stellen geschwächt und verdunkelt, welche im reflectirten heller erschienen.

An Stellen, wo die Dicke des Blättchens nach der Richtung dn, wo der Strahl hindurchgeht, gleich ist einer ungeraden An-

zahl von $^1/_4$ Wellenlängen, erscheint das reflectirte Licht hell das durchgelassene aber dunkel.

Beträgt aber die Dicke $dn = \frac{2\lambda}{4}, \frac{4\lambda}{4}, \frac{6\lambda}{4}, \ldots$

so ist der Gangunterschied δ im reflectirten Lichte

$$\delta = \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}, \frac{7\lambda}{2}, \ldots$$

im durchgelassenen Lichte hingegen aber

$$\delta_1 = \lambda, 2\lambda, 3\lambda, 4\lambda, \ldots$$

d. h. beträgt die Dicke des Blättchens in der Richtung des durchgehenden Lichtes eine gerade Anzahl von $^1/_4$ Wellenlängen, so wird das reflectirte Licht durch Interferenz verschwinden, das durchgelassene aber heller erscheinen.

Diese Gesetze sind durch directe Messungen am Newton-schen Farbenglase nachgewiesen worden. — Die Ausdrücke für dn belehren uns ferner, dass die Dicke der Schichte für kürzere λ kleiner sein muss; dieses bestätiget auch die Erfahrung, denn im weissen Sonnenlichte erscheinen die Newton'schen Farbenringe am innern Rande (kleinere Dicke dn) violett, am äussern Rande aber roth, oder violettes Licht erzeugt die kleinsten, rothes die grössten Ringe.

Diese Erscheinung gilt natürlich auch dann, wenn zwischen den beiden Gläsern nicht Luft, sondern eine andere durchsichtige Substanz enthalten ist, überhaupt für alle durchsichtigen Blättchen. Hieraus erklären sich die Farben sehr dünner Häutchen, der Seifenblasen und dünn ausgeblasener Glaskugeln, die farbigen Ringe in den Sprüngen der Krystalle, die Farben dünner Fischschuppen, des Wassers und Weingeistes, die in dünnen Schichten eine Unterlage bedecken, eines Oeltropfens auf dem Wasser etc.

§. 33. **Abnahme der Lichtstärke beim Durchgange durch ein Mittel, und ihr Einfluss auf die natürliche Farbe der Körper.** Das Licht erleidet bei jedem Uebergange aus einem Mittel in ein anderes an der Trennungsfläche eine theilweise Reflexion. Ist das Licht in einen Körper eingedrungen, so tritt in Folge der Porosität und der nicht immer gleichen Dichte auch im Innern an vielen Stellen eine theilweise Reflexion ein, folglich erfährt das Licht mit dem weitern Fortdringen eine von der materiellen Beschaffenheit abhängige Schwächung, die man Absorption nennt.

Das im Innern des Körpers an einer Stelle theilweise zurückgeworfene Licht kann wieder an einer andern Stelle so reflectirt werden, dass es die Richtung des direct durchgehenden Lichtes bekommt. Ist der Abstand der Massentheilchen von einander regelmässig und gleich, so können die reflectirten und wieder vorwärts gehenden Wellen durch die nachfolgenden regelmässig verstärkt oder geschwächt werden. Daraus folgt die Möglichkeit, dass Wellen von gewisser Länge, d. i. Licht von bestimmter Farbe, weniger geschwächt durchgehen als andere, und dass wieder andere Lichtwellen sich ganz aufheben können. Hierauf beruht wahrscheinlich das, was man Absorption des Lichtes nennt und die Farbe der das Licht theilweise durchlassenden Körper.

Die Strahlen, welche wir von einem beleuchteten Körper erhalten, sind daher nicht blos die, welche an der Oberfläche reflectirt werden, sondern auch jene, die aus dem Innern des Körpers kommen; daher hat die natürliche Farbe selbst undurchsichtiger Körper ihren Grund nicht allein in der Reflexion des Lichtes, sondern auch in der sogenannten Absorption.

Kirchhoff hat theoretisch nachgewiesen, dass ein Körper, der im glühenden Zustande nur Licht von einer bestimmten Wellenlänge aussendet, einen darauf fallenden Lichtstrahl von derselben Wellenlänge absorbirt. Sendet er aber Licht von verschiedenen Wellenlängen aus, so absorbirt er aus demselben Grunde auch die Lichtstrahlen der gleichen Farbe. So ist das Licht einer mit Kochsalz bestreuten Weingeistflamme monochromatisch gelb von dem glühenden Natrium; das Licht derselben geht nicht durch Natriumdampf, sondern wird von demselben ausgelöscht, d. i. absorbirt.

a) Gelangen die Lichtwellen aus dem neuen Medium mit einer Schwingungsintensität, die geeignet ist einen Lichteindruck hervorzubringen, so erscheint das neue Medium durchsichtig oder durchscheinend; können aber die Lichtwellen das Sehorgan nicht mehr afficiren, so erscheint der Körper undurchsichtig.

Von dem auf die Oberfläche eines Körpers auffallenden Lichte tritt immer ein Theil in das Innere der Masse ein, denn in

dünnen Blättchen sind selbst die dichtesten Körper, wie z. B. Gold, durchscheinend.

Wird von dem durchgehenden Lichte eine Farbengattung vorzugsweise geschwächt, so erscheint im durchgelassenen Lichte die zur absorbirten complementäre Farbe. So wirft Gold vom Sonnenlichte die gelben Strahlen zurück, absorbirt die rothen und lässt die grünen durch; ebenso verhält es sich auch mit den Farbengläsern. Die Sonne erscheint dem Taucher in der Tiefe des Meeres hellroth, die erleuchtete Oberfläche des Meeres dagegen erscheint uns meist in grüner Farbe. Daraus erklärt sich auch die Farbe der Luft und auch die des Firmamentes etc.

b) Farbige Schatten (Contrastfarben). Lässt man in ein dunkles Zimmer durch eine enge Oeffnung Licht eines grauen Wolkenhimmels, d. i. gewöhnliches weisses Tageslicht oder auch Mondlicht, von der einen Seite auf ein am Tische liegendes weisses Blatt Papier fallen, von der andern Seite aber Kerzenlicht, und setzt man einen Stab auf das Papier, so wirft er zwei Schatten. Der eine Schatten, erzeugt vom Tageslicht, wird vom Kerzenlicht beleuchtet und erscheint rothgelb; der zweite, erzeugt vom Kerzenlicht, wird vom Tageslicht beleuchtet, ist daher weiss, erscheint aber durch Contrast blau.

Hier gibt uns der doppelt beleuchtete Grund einen falschen Maassstab für das Weiss; mit diesem lichteren Weiss verglichen erscheint uns das wirkliche, aber weniger helle Weiss des einen Schattens blau.

Dieses Blau, sowie jenes Rothgelb der beiden Schatten erscheinen uns aber einzeln gesehen weiss, das eine bei Tageslicht, das andere bei Kerzenbeleuchtung.

Aehnliche Contraste entstehen durch Ermüdung des Sehorgans. Wenn wir einige Zeit unter grellem Sonnenschein etwas genau zu beobachten uns anstrengen, und wir treten plötzlich in ein dunkleres Zimmer, so sehen wir die schwächer beleuchteten Gegenstände nicht, erst nach einiger Zeit erholt sich das Auge und das Sehen wird möglich. Fixirt man einen hellen Gegenstand auf dunklem Grunde und blickt dann auf einen gleichmässig dunkelgrauen Grund, so sieht man auf diesem ein Nachbild des fixirten Objectes, aber in entgegengesetzter Beleuchtung, das Dunkle hell, das Helle dunkel.

War das Object roth und man betrachtet das Nachbild auf grauem Grunde, so erscheint das Nachbild grün, d. i. complementär zum Roth. Die durch das Roth des Objectes ermüdete Netzhaut wird also nur noch von dem Grün des weissgrauen Grundes empfindlich erregt.

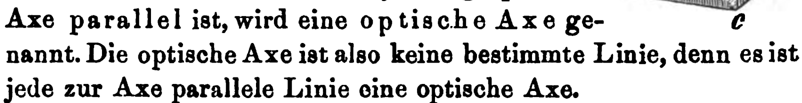
Solche Versuche lehren uns, wie verschiedene Einflüsse bei der Erzeugung jener Eindrücke thätig sind, die wir als Körperfarben wahrnehmen.

§. 34. **Doppelte Brechung des Lichtes.** Viele durchsichtige Krystalle, wie z. B. der sogenannte isländische Doppel-

spath oder Kalkspath haben die Eigenschaft, einen in dieselben eindringenden Lichtstrahl in zwei gebrochene Strahlen zu theilen und in Folge dessen die Gegenstände doppelt zu zeigen. Diese Eigenschaft wird die doppelte Brechung des Lichtes genannt.

Der Doppelspath krystallisirt in Rhomboëdern (Fig. 327). An dem Rhomboëder finden sich zwei einander gegenüber liegende Ecken *a* und *b*, deren jede von drei gleichen stumpfen ebenen Winkeln begrenzt ist.

Fig. 327.



Die Linie *ab* ist die krystallographische Axe. — Jede Gerade, welche zur krystallographischen Axe parallel ist, wird eine optische Axe genannt. Die optische Axe ist also keine bestimmte Linie, denn es ist jede zur Axe parallele Linie eine optische Axe.

Die Eigenschaft der optischen Axe ist die, dass der zu ihr parallel durchgehende Strahl keine doppelte Brechung erleidet.

Jede Durchschnittsebene, welche die Richtung der optischen Axe in sich enthält, wird ein Hauptschnitt des Krystalls genannt.

Ein in den Kalkspath eindringender Lichtstrahl wird in zwei Strahlen gespalten, der eine befolgt das gewöhnliche Brechungsgesetz und heisst der gewöhnliche oder ordentliche (ordinäre) Strahl; der andere richtet sich nach einem andern Gesetze, denn bei ihm ist nicht nur der Brechungsexponent veränderlich, sondern er verlässt auch oft die Einfallsebene und heisst deshalb der ungewöhnliche oder ausserordentliche (extraordinäre) Strahl.

Im Kalkspath bleiben nur dann beide gebrochenen Strahlen in der Einfallsebene und haben constante Brechungsexponenten, wenn die Einfallsebene des Lichtstrahles auf der Axe senkrecht steht. Der Brechungsexponent des ordentlichen Strahles im Kalkspath ist constant.

$$n = V : v = 1 : 0{\cdot}6045,$$

und bei dem ausserordentlichen ist er bei der senkrecht gegen die Axe gerichteten Einfallsebene auch constant und zwar

$$n_1 = V : v_1\ 1 : 0{\cdot}6742.$$

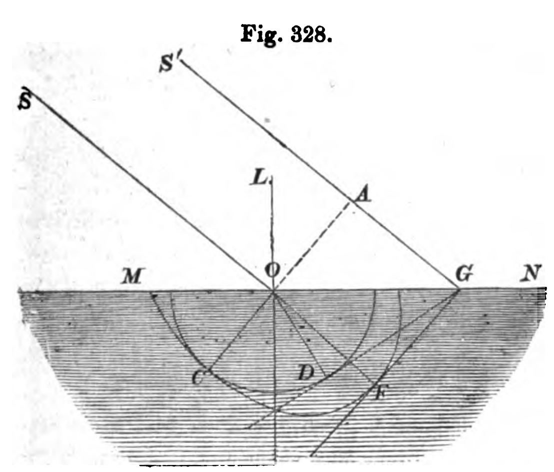
Wie die Ursache der Brechung überhaupt in der verschiedenen Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes liegt, so hat auch die doppelte Brechung ihre Ursache in der verschiedenen Geschwin-

digkeit der beiden Theile des gebrochenen Strahles, und zwar ist diese Verschiedenheit in der auf die Axe senkrechten Richtung durch das Verhältniss $v : v_1 = 0{\cdot}6045 : 0{\cdot}6742$ ausgedrückt. Beide Strahlen würden in einen zusammenfallen, wenn $v = v_1$ wäre, dies geschieht auch wirklich in der Richtung der optischen Axe. Denn sieht man in der Richtung der optischen Axe auf eine schwarze Linie auf weissem Papier, so erscheint sie einfach, sieht man aber unter irgend einem Winkel gegen die Axe durch, so erscheint das Bild doppelt.

a) Der auf gewöhnliche Weise gebrochene Strahl geht nach jeder Richtung mit der nämlichen Geschwindigkeit durch, also muss seine Wellenoberfläche kugelförmig sein; die Wellenoberfläche des ungewöhnlich gebrochenen Strahles kann aber nicht kugelförmig, wohl aber ellipsoidisch sein, da sich seine Ablenkung, also auch die Geschwindigkeit mit dem Winkel ändert, den seine Richtung mit der Axe einschliesst.

Man kann alle bei einaxigen Krystallen vorkommenden Erscheinungen der doppelten Brechung erklären, wenn man annimmt, dass beim Einfallen eines Lichtstrahles in einen Krystall vom Einfallspunkte nebst einer kugelförmigen gleichzeitig eine ellipsoidische Welle ausgeht. — Es sei MN (Fig. 328) die Oberfläche eines Kalkspathes, AO die einfallende Planwelle, OC die in der Einfallsebene liegende optische Axe; man setzt $OC : AG = v : V = 0{\cdot}6045 : 1$ und nimmt OC zum Halbmesser der Kugelwelle, zieht die Tangirende GD, so ist OD als die auf GD Senkrechte der ordentlich gebrochene Strahl. — Schneidet man von der auf OC errichteten Senkrechten ein Stück OF ab, so dass sich $OF : OC = 0{\cdot}6742 : 0{\cdot}6045$, macht dieses Stück zur grossen, OC zur kleinen Axe des Ellipsoids und zieht von G eine Tangirende GF, so gibt OF die Richtung des ausserordentlichen Strahles.

Fig. 328.



b) Man unterscheidet unter den Krystallen, die das Licht doppelt brechen, solche, welche nur eine optische Axe besitzen, und solche mit zwei Linien, in deren Richtung das Licht keine doppelte Brechung erleidet, d. i. Krystalle mit zwei optischen Axen. Einaxige Krystalle gehören dem

rhomboëdrischen und pyramidalen Systeme an und sind: Doppelspath, Turmalin, Saphir, Rubin, Smaragd, Bergkrystall, Boracit etc.; zweiaxige, dem prismatischen Systeme angehörend sind: Arragonit, Topas, einige Glimmerarten, Salpeter, Zucker, Gyps, Feldspath etc.

In zweiaxigen Krystallen befolgt im Allgemeinen keiner der beiden gebrochenen Strahlen, in welche sich der einfallende Lichtstrahl theilt, die gewöhnlichen Brechungsgesetze.

Das Vermögen, Licht doppelt zu brechen, verdanken die Körper einer mit der krystallinischen Structur verbundenen Verschiedenheit in der Anordnung der Moleciile nach verschiedenen Richtungen. Dies beweist die Erfahrung; denn Substanzen, die das Licht nur einfach brechen, wie z. B. Glas, erlangen sogleich die Fähigkeit, dasselbe doppelt zu brechen, wenn man durch einseitig ausgeübten Druck oder durch ungleichförmige Erwärmung und Ausdehnung die früher bestandene gleichförmige Anordnung der Massentheilchen des Körpers aufhebt.

c) Manche doppelt brechende Substanzen haben die Eigenschaft, längs der Richtung des einen der zwei gebrochenen Strahlen die Fortpflanzung des Lichtes überhaupt oder nur einzelner Lichtsorten zu hemmen. Eine solche Substanz ist der Turmalin. Eine parallel zur Krystallaxe aus dem Turmalin herausgeschnittene Platte lässt bei einer gewissen Dicke blos das ungewöhnlich gebrochene Licht hindurch, während das gewöhnlich gebrochene von Schichte zu Schichte absorbirt wird. — Hierher gehört auch der sogenannte Dichroismus, d. i. die Eigenschaft mancher Krystalle, nach Verschiedenheit der Richtung des durchgehenden Lichtes eine andere Farbe zu zeigen.

§. 35. Polarisation des Lichtes durch doppelte Brechung.

1. Versuch. Stellt man zwei dicke und recht durchsichtige Kalkspath-Rhomboëder über einander und betrachtet durch beide eine schwarze Linie auf einer weissen Fläche, während man den obern Krystall dreht, so beobachtet man in den zwei Fällen, wo die beiden Hauptschnitte zu einander parallel sind oder auf einander senkrecht stehen, nur zwei, aber in jeder andern Stellung der Hauptschnitte vier Bilder, deren Intensität jedoch nur dann gleich ist, wenn die Hauptschnitte oder die Axen den Winkel von 45° mit einander bilden.

Genaue Untersuchungen lehren, dass bei paralleler Stellung der Hauptschnitte der in dem ersten Krystalle ordentlich gebrochene Lichtstrahl im zweiten nur die ordentliche, der in dem ersten ausserordentlich gebrochene in dem zweiten nur die ausserordentliche Brechung erfährt; dagegen geht der ordentliche in einen ausserordentlichen und umgekehrt

über, wenn die Hauptschnitte auf einander senkrecht stehen; bei jeder andern Neigung der Hauptschnitte erfährt jeder der aus dem ersten Krystalle austretenden Strahlen in dem zweiten wieder eine doppelte Brechung in einen ordentlichen und ausserordentlichen Strahl.

Der Kürze wegen bezeichnen wir den aus der ersten Brechung hervorgegangenen ordentlichen und ausserordentlichen Strahl mit O und E, und demgemäss die bei der zweiten Brechung aus O entspringenden Strahlen mit Oo und Oe, die aus E entspringenden mit Eo und Ee. Letzter Versuch lehrt, dass die Strahlen Oe und Eo desto stärker erscheinen, je weiter die Hauptschnitte von ihrer parallelen Lage abweichen, Oo und Ee aber desto schwächer bis bei senkrechter Stellung $Oe = E$ und $Eo = O$, Oo und Ee hingegen Null werden und verschwinden.

2. Versuch. Palarisationsebene. Lässt man einen gewöhnlichen Lichtstrahl durch eine Oeffnung im Fensterladen auf einen Kalkspath auffallen, und dreht den Hauptschnitt um den auffallenden Strahl, so erhält man immer zwei gleich intensive Strahlen O und E. Lässt man hingegen den gebrochenen Strahl O oder E auf einen andern Kalkspath und dreht man den Hauptschnitt um den eintretenden Strahl, so ist seine Brechung einem periodischen Wechsel unterworfen, und zwar stimmen die Erscheinungen der Strahlen O und E im Allgemeinen mit einander überein, nur differiren die mit gleichnamigen Eigenschaften begabten Seiten dieser Strahlen der Lage nach um 90 Grad; denn O wird bei 0^0 ordentlich gebrochen, E hingegen bei 90^0 etc. Der Strahl E erscheint genau wie ein um 90^0 um seine Richtung gedrehter Strahl O. Man nennt den Zustand der Seitenverschiedenheit doppelt gebrochener Strahlen Polarisation und jeden solchen Strahl selbst einen polarisirten, O und E zwei entgegengesetzt oder rechtwinkelig polarisirte Strahlen.

Die Art der Polarisation kann demnach durch zwei aufeinander senkrechte Ebenen, die man Polarisationsebenen nennt, näher bezeichnet werden. Im Doppelspathe wird die Hauptschnittsebene als Polarisationsebene des ordentlich gebrochenen Strahles O angenommen;

die Polarisationsebene des E steht sonach auf der Hauptschnittsebene senkrecht. Man sagt nach dieser angenommenen Bezeichnung, der ordentliche Strahl O sei im Hauptschnitte, der ausserordentliche E sei senkrecht gegen den Hauptschnitt polarisirt.

a) Da das gewöhnliche oder unpolarisirte Licht durch doppelte Brechung in zwei entgegengesetzt polarisirte Strahlen von gleicher Intensität zerfällt und der Erfahrung zufolge zwei Lichtbilder von O und E dort, wo sie sich gegenseitig decken, wieder unpolarisirtes Licht geben, so kann man das gewöhnliche Licht als eine Zusammensetzung zweier entgegengesetzt polarisirter Strahlen betrachten.

b) Eine parallel zur Krystallaxe geschnittene Turmalinplatte ist ein sehr bequemes Mittel, sich polarisirtes Licht zu verschaffen, den Polarisationszustand eines Lichtstrahles zu erkennen und die Lage der Polarisationsebene anzugeben. — Hat die Turmalinplatte die gehörige Dicke, so lässt sie nur den ausserordentlich gebrochenen Strahl durch; zwei solche über einander gelegte Turmalinplatten erscheinen durchsichtig, wenn ihre Axen parallel stehen, dreht man aber eine Platte über der andern, so nimmt die Intensität des Lichtes ab und verschwindet, wenn die Axen auf einander senkrecht stehen, da in diesem Falle das E der ersten in der zweiten in O übergeht und als solches absorbirt wird. Die Axe der gedrehten Platte ist jetzt mit der Polarisationsebene des auffallenden Strahles E parallel.

Um die beiden entgegengesetzt polarisirten Strahlen abgesondert untersuchen zu können, verfertigt man aus den brechenden Substanzen Prismen und achromatisirt sie mittelst angefügter Glasprismen, so dass die Zerstreuung des Lichtes die Reinheit der Bilder nicht merklich zu stören vermag.

36. §. **Erklärung des Polarisationszustandes und der doppelten Brechung.** Die Interferenzerscheinungen des polarisirten Lichtes geben uns Aufschluss über das Wesen der Polarisation. Die Erfahrung lehrt nämlich, dass zwei von derselben Lichtquelle kommende, in derselben Ebene polarisirte Lichtstrahlen genau so interferiren wie unpolarisirtes Licht; zwei Strahlen hingegen, deren Polarisationsebenen auf einander senkrecht stehen, zeigen keine Interferenzerscheinung.

Um diese Thatsache an einem Versuche zu zeigen, bringt man bei dem Beugungsversuche durch zwei Spalten vor jede Spalte ein zur Krystallaxe parallel geschnittenes Turmalinplättchen, beide von gleicher Dicke. Stellt man die Axen beider Turmalinplatten zu einander parallel, so wird an der Erscheinung nichts geändert; dreht man aber das eine Plättchen in seiner Ebene, so nimmt die Deutlichkeit der Interferenzstreifen ab, und diese verschwinden endlich ganz, wenn die Axen der Plättchen zu einander senkrecht stehen. Die Stellung der Axen zu einander ist dieselbe wie die der Polarisationsebenen. Dieser Versuch lehrt, dass die Fähigkeit polarisirter Lichtstrahlen zu interferiren wie unpolarisirtes Licht, mit dem Winkel der Polarisationsebenen abnimmt.

Diese Thatsache erklärt sich nach der Undulationstheorie vollkommen, wenn man transversale Aetherschwingungen annimmt, die im polarisirten Lichte sämmtlich in einer Ebene vor sich gehen, die zur Polarisationsebene eine bestimmte Lage hat. Die wirkliche Lage dieser Ebene ist für unsere Untersuchungen zwar gleichgiltig, doch sprechen Gründe dafür, dass in einem polarisirten Lichtstrahl die Aethertheilchen senkrecht gegen die Polarisationsebene schwingen.

Begegnen sich nun zwei von derselben Lichtquelle kommende entgegengesetzt polarisirte Strahlen unter einem sehr kleinen Winkel, so wird jedes an der Durchkreuzungsstelle liegende Aethertheilchen von zwei rechtwinkeligen Kräften, die auf einander keinen schwächenden Einfluss auszuüben vermögen, zur Bewegung gebracht; sind aber die Polarisationsebenen parallel, so werden die Theilchen längs derselben Geraden zur Bewegung angeregt und interferiren nach dem bekannten Interferenzgesetze.

Da gewöhnliches Licht als Resultat der Zusammensetzung entgegengesetzt polarisirter Lichtstrahlen betrachtet werden kann, so müssen auch die Aethertheilchen bei der Fortpflanzung des unpolarisirten Lichtes transversal und zwar in allen möglichen Richtungen schwingen, da es immer zwei gleich intensive Strahlen O und E gibt.

Unkrystallisirte durchsichtige Körper vermögen transversale Aetherschwingungen, ob sie in dieser oder jener Ebene erfolgen,

auf gleiche Weise fortzupflanzen; doppelt brechende Substanzen hingegen erscheinen wegen der aus der Krystallisation hervorgegangenen Gruppirungsweise ihrer Molecüle und der dadurch bedingten Anordnung des Aethers in ihrem Innern nur zur Fortpflanzung solcher Strahlen geeignet, bei welchen die Aethertheilchen im Hauptschnitte oder dagegen senkrecht schwingen. Gelangt eine Lichtwelle an die Grenze eines solchen Körpers, so theilt sich der gewöhnliche Lichtstrahl, den man sich aus zwei gleich starken entgegengesetzt polarisirten Strahlen zusammengesetzt denken darf, in zwei gleich starke Wellen, welche, für sich abgesondert, die eine in dem Hauptschnitte, die andere darauf senkrecht fortgehen.

So oft aber die Schwingungsebene eines polarisirten Strahles O oder E unter einem Winkel γ gegen den Hauptschnitt geneigt erscheint, muss eine Zerlegung der Schwingungen R in zwei rechtwinkelige Componenten $P = R \cos \gamma$ und $Q = R \sin \gamma$ erfolgen. Die bekannten Aenderungen des Sinus und Cosinus bei Aenderungen des Winkels zeigen uns die Ursache der gleichzeitigen Zunahme des ordentlichen und der Abnahme des ausserordentlichen Strahles, wenn man bedenkt, dass die Intensität des Lichtes als Wirkungsgrösse dem Quadrate der Schwingungs-Intensität oder der Amplitude proportional ist.

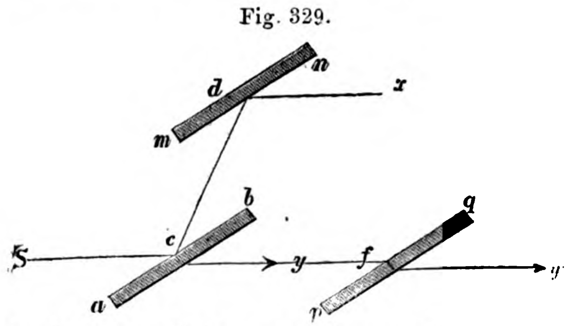
Auch ersieht man, dass für $\gamma = 45^0$, $P = Q$, für $\gamma = o$, $P = R$ und $Q = o$, für $\gamma = 90^0$, $P = o$ und $Q = R$ ist. Man hat also R als E oder O und P und Q als die daraus entstehenden Strahlen Ee und Eo oder Oo und Oe anzusehen, um in jedem Falle die Intensität der aus der doppelten Brechung hervorgehenden Strahlen zu ermitteln.

§. 37. **Polarisation des Lichtes durch Reflexion und einfache Brechung.** 1. Versuch. Fällt ein Lichtstrahl unter dem Einfallswinkel von 55° auf eine geschliffene Glasplatte (Fig. 329), so zeigt er nach seiner Reflexion nahe dieselbe Eigenschaft, wie der im Kalkspathe ordentlich polarisirte Strahl, d. h. der Strahl wird durch Reflexion polarisirt, und die Reflexionsebene ist seine Polarisationsebene.

Der durch die Glasplatte hindurchgehende gebrochene Strahl erhält zum Theile die Eigenschaft des im Kalk-

spathe ausserordentlich gebrochenen Strahles, nur mit dem Unterschiede, dass man bei der Untersuchung mittelst eines Kalkspathes noch immer zwei Strahlen von wechselnder Intensität erhält, was denn beweist, dass er nur unvollkommen polarisirt ist. Lässt man ihn aber durch eine Reihe parallel zu einander gestellten Platten, d. i. durch eine Glassäule gehen, so erscheint er beim Austritte auch nahezu vollkommen wie ein ausserordentlicher Strahl polarisirt. Seine Polarisationsebene steht auf der Brechungsebene senkrecht.

Fig. 329.



An einer Wasserfläche erscheint auch das Licht, welches unter dem Einfallswinkel von 53° auffällt, nach der Reflexion polarisirt; und so gibt es für jede das Licht einfach brechende Substanz einen gewissen Einfallswinkel, unter welchem dieselbe das Licht durch Reflexion vollkommen zu polarisiren vermag. Dieser Einfallswinkel heisst der Polarisationswinkel. Man hat die Erfahrung gemacht, dass es stets derjenige Winkel (α) ist, bei dem die Richtung des reflectirten Strahles auf jener des gebrochenen senkrecht steht.

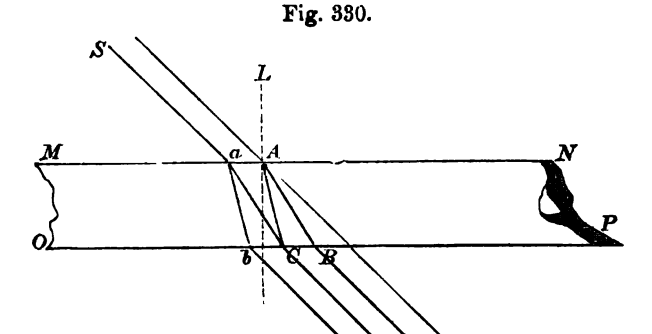
Nun ist $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$ und hier $\alpha + \beta = 90°$, mithin ist $\sin \beta = \cos \alpha$, also $n = \operatorname{tang} \alpha$, d. h. die Tangente des Polarisationswinkels ist gleich dem Brechungsexponenten der Substanz; also ist der Polarisationswinkel bekannt, sobald man den Brechungsexponenten gefunden hat.

2. Versuch. Fängt man den durch Reflexion polarisirten Strahl *cd* (Fig. 329) mit einer zu *ab* parallelen Glassäule *mn* auf, so wird er ganz reflectirt; dreht man aber *mn* um *cd*, so wird immer weniger reflectirt, bei 90° entzieht er sich ganz der Reflexion und erscheint vollständig gebrochen. Lässt man aber den durch Brechung in der Glassäule *ab* polarisirten Strahl auf eine zweite parallele Glassäule *pq* auffallen, so entzieht er sich ganz der Reflexion und wird vollständig gebrochen; dreht man aber *pq* um *cf*, so erscheint ein reflectirter Antheil, der immer stärker wird und bei 90° Drehung sein Maximum erreicht, während der gebrochene verschwindet.

Während sich ein vollständig polarisirter Lichtstrahl der Reflexion ganz entzieht, wenn seine Polarisationsebene auf der neuen Reflexionsebene senkrecht steht, tritt bei unvollkommen polarisirten nur ein Minimum der Lichtstärke ein, bei gewöhnlichem Lichte hingegen merkt man keine Aenderung der Intensität. Darin haben wir ein sicheres und leichtes Mittel zur Untersuchung des polarisirten Lichtes. — Jeden zu dieser Untersuchung anwendbaren Körper nennt man Analyseur.

§. 38. **Farbenerscheinungen an dünnen doppelt brechenden Platten im polarisirten Lichte.** Lässt man auf ein von parallelen Ebenen begrenztes dünnes Blättchen von einem doppelt brechenden Krystall (Fig. 330) polarisirte Lichtstrahlen in einer solchen Richtung *SA* auffallen, dass der auffallende Lichtstrahl

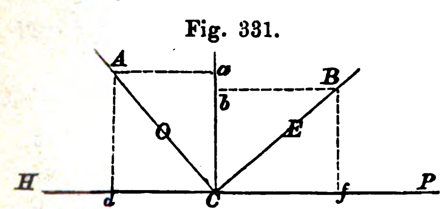
Fig. 330.



SA in zwei Strahlen *AB* und *AC* gebrochen wird, so fällt der in der Richtung *Cx* austretende Strahl mit dem von dem auffallenden Strahle *Sa* herrührenden gebrochenen Antheile *aC* zusammen. — Da jeder auffallende Strahl in zwei entgegengesetzt polarisirte Strahlen zerfällt und zwei solche in der Richtung *Cx* heraustreten, so können sie keine Interferenz-Erscheinung erzeugen, obwohl wegen der Verschiedenheit der Wege *AC* und *aC* und ihrer Fortpflanzungsgeschwindigkeit ein Gangunterschied der beiden Lichtwellen vorhanden ist. Fängt man aber die in der Richtung *Cx* austretenden entgegengesetzt polarisirten Strahlen *O* und *E* mit einem doppelt brechenden Körper, z. B. mit einem Kalkspathe, der als Analyseur dient, auf, und bildet der Hauptschnitt *HP* des Krystalls mit den Schwin-

gungsebenen von O und E spitze Winkel $\gamma = ACH$ (Fig. 331), so zerlegen sich diese wie Kräfte und zwar O in $Oo = aC$ und $dC = Oe$, E in $Eo = bC$ und $Ee = Cf$, und es erscheinen dann Oo und Eo, Oe und Ee je in einer Ebene polarisirt und geben sonach die ihrem Gangunterschiede entsprechende Interferenz-Erscheinung.

Fig. 331.



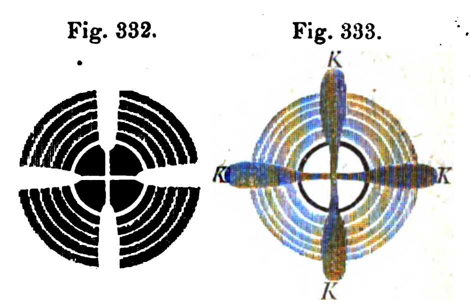
Man ersieht aus der Figur, dass sich zwei Componenten addiren: $Oo + Eo$, die andern zwei dagegen subtrahiren: $Ee - Oe$; demnach treten die interferirenden Theile mit verschiedenen Lichtintensitäten hervor. Da beide Theile denselben Gangunterschied haben, so wird bei Anwendung des weissen Lichtes an den Stellen, wo $Oo + Eo$ durch Interferenz eine gewisse Farbe hervortreten lässt, durch $Ee - Oe$ gerade dieselbe Farbe wegen der geschwächten Lichtintensität aus dem weissen Lichte verschwinden und dafür die complementäre auftreten. Daher sind die Farben der zwei Bilder, wovon das eine dem ordentlich, das andere dem ausserordentlich gebrochenen Lichte entspricht, immer complementär, und zwar am lebhaftesten, wenn der Neigungswinkel $\gamma = 45^0$ ist, denn da wird $Ee - Oe = o$; wird aber $\gamma = 0^0$ oder 90^0, so hört die Interferenz, mithin auch die Farbenerscheinung auf. — Wird der Hauptschnitt HP um 90^0 gedreht, so geht die Farbe eines jeden Bildes in die complementäre über, weil dann das gewöhnliche Bild in ein ungewöhnliches und das ungewöhnliche in ein gewöhnliches übergeht.

a) Fällt auf die Krystallplatte ein polarisirter Lichtkegel, so erlangen jene Strahlen, welche die Platte unter gleichen Einfallswinkeln treffen, beim Durchgange einerlei Gangunterschied, und diese Stellen der Platte haben einerlei Farbe oder sind isochromatisch.

Ist die Krystallplatte senkrecht zur optischen Axe geschnitten und fällt ein Lichtkegel senkrecht auf dieselbe, so bilden die in gleichen Abständen von der Axe des Kegels auffallenden Strahlen einerlei Einfallswinkel, daher sind die isochromatischen Stellen concentrische Kreise und man erblickt durch den Analyseur farbige Ringe. Da in diesem Falle sämmtliche Einfallsebenen als Hauptschnitte zu betrachten sind, so bildet die Polarisationsebene des auffallenden Lichtes mit einem Hauptschnitte den Winkel $\gamma = o$ und mit dem darauf senkrechten $\gamma = 90$; an diesen

S t e l l e n findet daher keine Doppelbrechung statt, es fehlen also h i e r die in Figur 331 mit O und E bezeichneten Strahlen, daher fehlt auch die Interferenz und man sieht das Ringsystem durchbrochen von einem w e i s s e n oder s c h w a r z e n K r e u z e (Fig. 332 und 333), je nachdem das polarisirte Licht des Kreuzes durch den Analyseur durchgeht oder nicht.

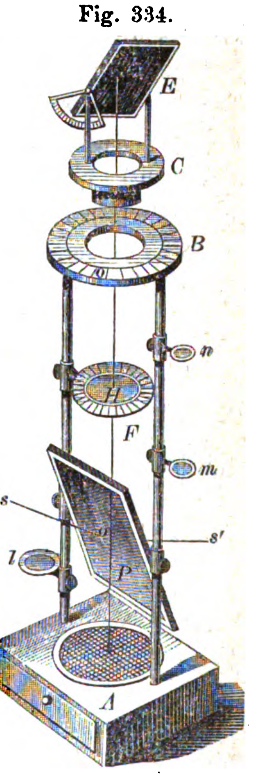
Fig. 332. Fig. 333.



b) Fallen auf das Krystallplättchen u n p o l a r i s i r t e Lichtstrahlen auf, so ist keine Farbenerscheinung möglich, denn jeder der beiden polarisirten Strahlen, aus denen der gewöhnliche Strahl besteht, erzeugt an der nämlichen Stelle eine Farbe, da aber diese Farben complementär sind, so erscheint die Stelle weiss.

§. 39. **Polarisations-Apparate.** Sowohl zur Umwandlung des unpolarisirten Lichtes in polarisirtes als auch zur Untersuchung eines gegebenen Lichtes und zur Beobachtung der Farbenerscheinungen an doppelt brechenden Körpern hat man eigene Polarisationsapparate construirt. Jedes Polarisationsinstrument besteht aus zwei Hauptbestandtheilen; in dem einen wird das gewöhnliche Licht in polarisirtes umgewandelt, mit dem andern aber die Erscheinung beobachtet. Der erste Bestandtheil heisst der p o l a r i s i r e n d e Theil oder P o l a r i s e u r, der zweite der a n a l y s i r e n d e oder A n a l y s e u r.

Fig. 334.



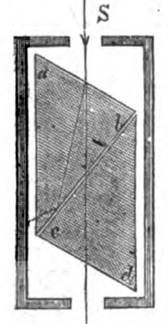
Der einfachste Polarisations-Apparat ist die T u r m a l i n z a n g e; sie besteht aus zwei parallel zur Axe geschnittenen ebenen Turmalinplatten, welche mittelst einer federnden Klemme an einander gedrückt werden. Um den Axen der zwei Platten eine beliebige Neigung geben zu können, ist die eine Platte drehbar. Man legt die Krystallplatten, welche man im polarisirten Lichte betrachten will,

zwischen die Turmalinplatten und gibt den Axen eine beliebige Stellung, während man das Auge dicht an die Turmalinplatte bringt.

Gewöhnlich wird das Polarisations-Instrument von Nörrenberg (Fig. 334) gebraucht. Bei diesem ist eine gegen die auffallenden Lichtstrahlen unter dem Polarisationswinkel geneigte Glasplatte P der Polariseur. Die an der Glasplatte polarisirten Lichtstrahlen werden in der Richtung der Axe reflectirt, und gelangen entweder unmittelbar von ihr oder erst nach der Reflexion an dem im Fussgestelle eingelassenen horizontalen Planspiegel A auf den drehbar eingesetzten Analyseur E. Um den im polarisirten Lichte zu untersuchenden Körpern eine sichere Lage zu geben, ist am Gestelle ein Rahmen F mit einer reinen Glasplatte H zur Aufnahme derselben angebracht. Diese Vorrichtung nennt man das Tischchen. Als Analyseure werden verschiedene reflectirende oder brechende Mittel in Anwendung gebracht, als: ein geschwärzter Glasspiegel E, eine Glassäule, ein Turmalinplättchen, ein Kalkspath-Rhomboëder, Rochon's und Nicol's Prisma. Auch Sammellinsen sind am Gestelle angebracht, um damit im nöthigen Falle einen Lichtkegel auf das Blättchen auffallen zu lassen.

Nicol's Prisma (Fig. 335) wirkt wie eine Turmalinplatte; es besteht aus einem länglichen Doppelspath-Rhomboëder, der durch einen zur Axe senkrechten Schnitt in zwei Stücke getheilt ist, die Flächen ab und cd aber so geschliffen sind, dass sie mit den natürlichen stumpfen Kanten Winkel von 68° bilden; die polirten Schnittflächen sind mit Canadabalsam wieder verbunden. Canadabalsam verhält sich zu dem ordentlichen Strahl wie ein schwächer brechendes, gegen den ausserordentlichen aber wie ein stärker brechendes Medium, daher erleidet O bei seinem schiefen Auffallen die totale Reflexion, so dass er nicht in's Auge gelangt, und dieses sonach blos den ausserordentlichen Strahl E empfängt.

Fig. 335.

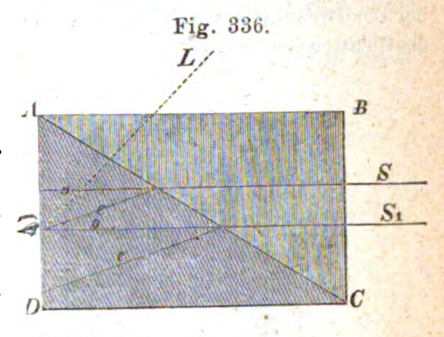


Rochon's Prisma (Fig. 336) besteht aus zwei gleichen dreiseitigen Prismen von Bergkrystall oder Doppelspath mit rechtwinkeligen Grundflächen; diese sind so geschnitten, dass in dem einen die Kathetenfläche AB zur Axe parallel ist, während in dem andern beide Kathetenflächen mit ihr parallel laufen. Diese Prismen werden mittelst Mastix in lacrimis an den Hypothenusenflächen zu einem rechtwinkeligen Parallelopiped verbunden. Durch diese

Verbindungen bringt man die durch doppelte Brechung entstehenden Bilder viel weiter aus einander, als durch ein einziges Stück des Krystalls von derselben Dicke, denn ein in *O* befindliches Auge sieht wegen der Doppelbrechung im Innern und wegen der gewöhnlichen Brechung des schief austretenden Strahles *e* das ungewöhnliche Bild in *L*, das gewöhnliche in S_1.

Wird der Analyseur um die Axe des Istrumentes (Fig. 334), in welcher der polarisirte Strahl liegt, gedreht, so erscheint bei einem unter dem Polarisationswinkel gegen die Axe geneigten geschwärzten Spiegel oder bei einer Glassäule, bei einer Turmalinplatte oder bei einem Nicol'schen Prisma während einer vollen Umdrehung das Gesichtsfeld zweimal ganz hell, zweimal ganz dunkel und zwar abwechselnd von 90° zu 90° Drehung, inzwischen findet ein allmäliger Uebergang statt. — Gibt der Analyseur zwei Bilder, so bieten diese immer die complementären Erscheinungen dar, und es tritt abwechselnd während das eine verdunkelt wird, das andere am lebhaftesten auf. Nach je 90° Drehung gehen die Farben in complementäre über.

Fig. 336.



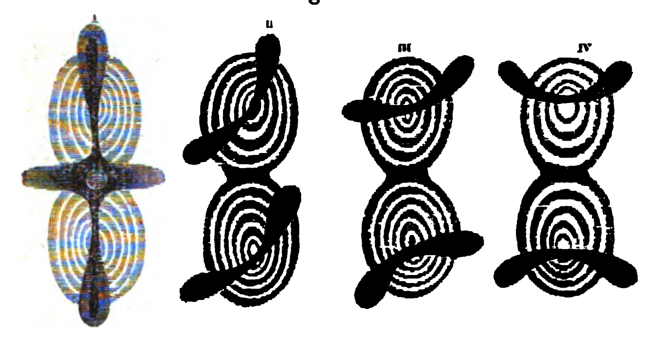
a) Um die Polarisationserscheinungen einem ganzen Auditorium zugleich sichtbar zu machen, gibt man dem Polarisationsinstrumente die Einrichtung, dass es die Erscheinungen auf einen Schirm projicirt. Man hat dazu eigene Projectionsapparate; diese sind so eingerichtet, dass der Polariseur, sei es ein Turmalinplättchen oder ein Nicol'sches Prisma, in den Brennpunkt einer einem intensiven Lichte ausgesetzten Sammellinse zu liegen kommt, aus ihm treten die polarisirten Strahlen unmittelbar in das zu untersuchende Krystallplättchen, und den anliegenden Analyseur durchdringeud fallen sie auf einen Schirm auf und erzeugen daselbst ein Bild. Will man jedoch keinen Lichtkegel, sondern blos parallele Lichtstrahlen anfallen lassen, so leitet man die an einem geschwärzten Spiegel durch Reflexion polarisirten Strahlen erst nach ihrem Durchgange durch das Plättchen auf die Linse, die dann auf dem Schirme ein Bild erzeugt.

b) Krystallplättchen, die man durch Spaltung erhält, wie z. B. von Gyps, Glimmer etc., werden in der deutlichen Sehweite je nach ihrer Dicke und der Stellung des Analyseurs in verschiedenen Farben gesehen. An sphärisch geschliffenen Plättchen sieht man selbst im parallel auffallenden Lichte concentrische Farbenringe. Da sich die Farbe mit der Dicke ändert, so lassen sich durch Aneinanderfügung von verschieden dicken Gypsplättchen farbige Figu-

ren, wie Blumen, Schmetterlinge etc., zusammenstellen. — Auch rasch abgekühlte sogenannte Seebeck'sche Gläser, nach einer Seite verschieden erwärmte oder gepresste Gläser zeigen ebenfalls, auf dem Tischchen liegend, farbige Figuren.

Um Farbenringe zu beobachten, schneidet man aus doppelt brechenden Krystallen senkrecht zur optischen Axe Platten und lässt Licht unter verschiedenen Einfallswinkeln, am bequemsten einen Lichtkegel, durchgehen. Das Ringsystem der einaxigen Platten (Fig. 332 und 333) erscheint mit einem schwarzen Kreuze, wenn das Gesichtsfeld ohne Platte dunkel war, das sich bei der Drehung des Analyseurs in ein helles verwandelt und bei 90° am deutlichsten hervortritt.

Fig. 337.



Bei zweiaxigen Krystallen, wie Arragonit, Gyps, Salpeter etc., geht nur je ein dunkler Streifen durch den farbigen Ring, aber man kann, wenn die optischen Axen einen spitzen Winkel bilden, die Ringsysteme beider Axen sehen. Fig. 337 stellt die Farbenringe an einem zwischen zwei Turmalinplatten befindlichen Salpeterkrystall dar, wie sie sich bei der Drehung von $\gamma = 0$ bis $\gamma = 45^0$ zeigen. — Durch diese Erscheinungen kann man zweiaxige Krystalle von einaxigen unterscheiden und die Lage der optischen Axe bestimmen.

Da schon eine Aenderung des Molecularzustandes, wie durch Druck, Wärme etc., eine doppelte Brechung herbeiführt, so lässt sich aus dem Verhalten der Krystalle im polarisirten Lichte auf ihren innern Bau zurückschliessen.

c) Bei Polarisations-Microscopen, womit man die lichtbrechenden Eigenschaften besonders organischer Objecte untersucht, bringt man den Polariseur unterhalb des Objectes an, beleuchtet also das Object mit polarisirtem Lichte, den Analyseur aber oberhalb des Oculars an, so dass man ihn nach Belieben drehen kann.

§. 40. **Circulare und elliptische Polarisation.** Das bisher betrachtete, in einer Ebene polarisirte Licht nennt man gèradlinig polarisirtes Licht zum Unterschiede von dem circular

und elliptisch polarisirten Lichte, bei welchem die Aethertheilchen in kreisförmigen und elliptischen Bahnen schwingen.

Um sich von diesem Vorgange eine Vorstellung zu verschaffen, betrachten wir ein Aethertheilchen A (Fig. 338), das von zwei entgegengesetzt polarisirten Strahlen (senkrechte Schwingungen), welche einen Gangunterschied von einer Viertelwellenlänge $\frac{\lambda}{4}$ und gleiche Amplituden a haben, nach den senkrechten Richtungen AB und AC zur Schwingung angeregt wird.

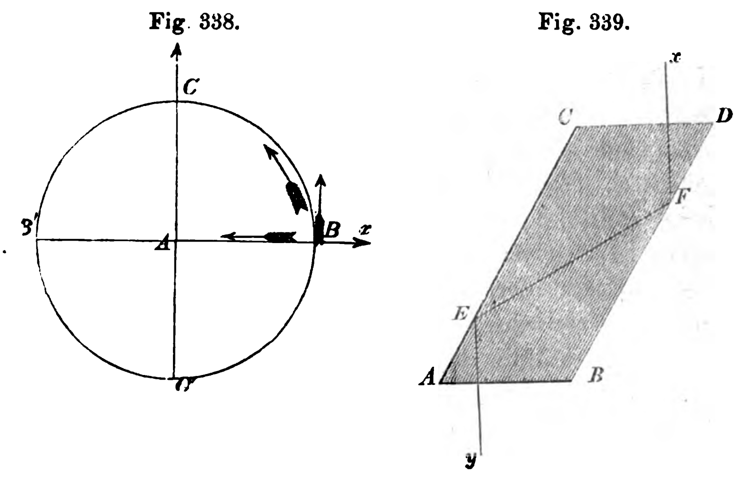


Fig. 338. Fig. 339.

In der Akustik §. 8. (Fig. 241) haben wir durch den Versuch mit dem Centrifugalpendel dargethan, dass sich rechtwinklige Schwingungen im Allgemeinen zu elliptischen Schwingungen zusammensetzen. Ist der Gangunterschied $\frac{\lambda}{4}$, dann entsteht, wenn die Schwingungen gleich stark sind, eine Kreisschwingung; d. i. beim Lichte eine circulare Polarisation.

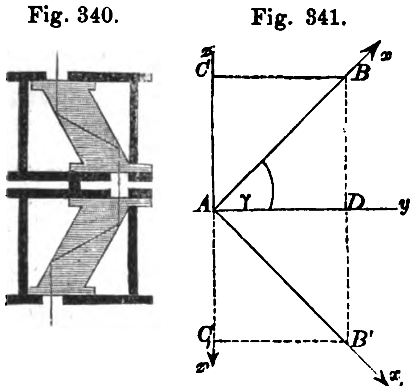
Nach Fresnel erhält man durch zwei totale Reflexionen des geradlinig polarisirten Lichtes in einem Glas-Parallelopiped circular polarisirtes Licht. Fig. 339 stellt den mit der Reflexionsebene zusammenfallenden Durchschnitt des Fresnel'schen Parallelopipeds dar. Die spitzen Winkel desselben richten sich nach dem Brechungsexponenten des Glases und betragen für $n = 1{\cdot}5$ entweder 48^0 oder 54^0. Fresnel hat durch Versuche nach-

gewiesen, dass ein senkrecht auffallender polarisirter Strahl yE, dessen Polarisationsebene mit der Reflexionsebene den Winkel von 45^0 bildet, in zwei gleiche, entgegengesetzt polarisirte Strahlen zerfällt, wovon der eine bei jeder Reflexion um $\frac{\lambda}{8}$, also bei zwei Reflexionen um $\frac{\lambda}{4}$ zurück bleibt. In diesem Falle tritt also ein circular polarisirter Lichtstrahl Fx heraus; er erscheint aber bei jedem andern Winkel der beiden Ebenen als ein elliptisch polarisirter Strahl.

Das circular polarisirte Licht gibt bei der Brechung in einem Doppelspathe, wie unpolarisirtes Licht, stets zwei gleich intensive Bilder, aber eine doppelt brechende Platte gibt im circular polarisirten Lichte Farbenphänomene, wenn man sie durch einen Analyseur ansieht, die bekanntlich bei unpolarisirtem Lichte nie erscheinen. Das elliptisch polarisirte zeigt sich dem unvollkommen geradlinig polarisirten ähnlich; es gibt, nach seinem Durchgange durch ein dünnes Krystallplättchen, mittelst eines Kalkspath-Rhomboëders analysirt, zwei Bilder von complementären Farben, die zwischen jenen Farben liegen, welche an demselben Plättchen im geradlinig und circular polarisirten Lichte wahrgenommen werden.

Um sich von der Wahrheit dieses innern Vorganges zu überzeugen, nimmt man ein Fresnel'sches Doppel-Parallelopiped (Fig. 340); dadurch muss der Gangunterschied noch um $\frac{\lambda}{4}$ vermehrt werden, also im Ganzen $\frac{2\lambda}{4} = \frac{\lambda}{2}$ betragen, wenn der angenommene Vorgang bei der Reflexion wirklich stattfindet. Es sei Ax (Fig. 341) die Schwingungsrichtung des auffallenden polarisirten Strahles, einen Winkel $\lambda = 45^0$ mit der Reflexionsebene Ay bildend, so sind die Componenten AD und AC einander gleich und nach y und z gerichtet; beim Austritte aus dem zweiten Parallelopiped hat aber eine Componente AC_1 wegen des Gangunterschiedes $\frac{\lambda}{2}$ gerade die entgegengesetzte Richtung Az_1, so dass

Fig. 340. Fig. 341.



jetzt AD und $AC_1 = AC$ die Componenten sind, daher ist die Schwingungsrichtung des austretenden Strahles Ax' und steht auf der ursprünglichen senkrecht, folglich steht auch die Polarisationsebene auf der ursprünglichen senkrecht, was die Versuche vollkommen bestätigen.

Ein durch Glimmerplättchen gehender polarisirter Lichtstrahl kann je nach der Dicke und dem daraus entspringenden Gangunterschiede, so wie nach dem Winkel zwischen der Polarisationsebene und dem Hauptschnitte bald circular, bald elliptisch polarisirt werden.

§. 41. **Drehung der Polarisationsebene. Sacharimeter.** Bringt man auf das Tischchen des Polarisationsinstrumentes ein senkrecht zur Axe geschnittenes Bergkrystallplättchen, legt unter dasselbe ein reines rothes Glas, das ziemlich homogene rothe Strahlen durchlässt, und auf das Plättchen einen schwarzen Schirm mit einer kleinen runden Oeffnung, und betrachtet die runde Oeffnung mittelst eines Nicol'schen Prisma, dessen Hauptschnitt zur ursprünglichen Polarisationsebene parallel ist, so wird die Oeffnung nicht dunkel erscheinen, wie bei andern einaxigen, senkrecht auf die Axe geschnittenen Krystallplatten, sondern das Bild verschwindet erst nach einer gewissen vorgenommenen Drehung. Hieraus ersieht man, dass sich der Bergkrystall unter den einaxigen Krystallen durch die besondere Fähigkeit auszeichnet, die Polarisationsebene um einen diesem Drehungswinkel gleichen Winkel abzulenken. Diesen Vorgang nennt man die Drehung der Polarisationsebene; sie ist der Dicke des Plättchens direct proportional.

Es gibt zwei Varietäten des Bergkrystalls, die eine dreht die Polarisationsebene rechts, die andere links; daher kann durch zwei auf einander gelegte Bergkrystallplatten die Drehung vergrössert oder vermindert werden, je nach dem Sinne ihrer Drehung. Bei gleicher Dicke des Plättchens aber nimmt die Drehung mit der Brechbarkeit des Lichtes zu, daher können bei Anwendung des weissen Lichtes nie alle farbigen Strahlen zugleich verschwinden.

Der Bergkrystall zeichnet sich noch durch die Eigenthümlichkeit der Farbenringe aus; das dunkle Kreuz ist nur schwach angedeutet, in der Mitte desselben ist eine der Dicke des Plättchens entsprechende Farbe zu sehen, die beim Drehen des Analyseurs nach links oder rechts der Reihe nach in eine prismatische Farbe nach der andern übergeht, je nachdem der Krystall ein links oder rechts drehender ist. — Legt man zwei gleich dicke Bergkrystallplättchen, eine rechts und eine links drehende, über einander auf das Tisch-

chen, oder auch nur eine auf den untern Spiegel des Polarisations-Apparates, so erhält man im convergirenden Lichte das unter dem Namen der Airy'schen Spiralen bekannte Farbenphänomen.

a) Sacharimeter. Auch viele organische Flüssigkeiten drehen, wie Biot gezeigt hat, die Polarisationsebene des durchgehenden Lichtes, und die Drehung erfolgt im Allgemeinen nach demselben Gesetze wie bei Bergkrystallplatten. Rechtsdrehende sind: Citronenöl, Lösungen von Rohrzucker, Runkelrübensaft etc.; linksdrehende: Terpentinöl, arabischer Gummi etc. — Die Grösse der Drehung der Polarisationsebene wächst mit dem Gehalte der Flüssigkeit an der gelösten Substanz; daher kann man aus der durch eine Zuckerlösung erfolgten Drehung auf den Zuckergehalt zurückschliessen. Instrumente, die bestimmt sind aus der Drehung der Polarisationsebene den Zuckergehalt zu ermitteln, nennt man Sacharimeter.

Soleil hat zur genauen Bestimmung des Zuckergehaltes ein nach ihm benanntes Sacharimeter construirt, das sich einer grossen Anwendung zu erfreuen hat. Es wird polarisirtes Licht durch ein, aus einem rechts und einem links drehenden Theile bestehendes Doppelplättchen auf zwei 8 bis 10 Zoll von einander entfernte, entgegengesetzt drehende Bergkrystallplatten, zwischen denen die Zuckerlösung eingeschaltet wird, geleitet und dann mittelst eines Nicol'schen Prisma analysirt. — Betrachtet man durch den Analyseur zuerst das Doppelplättchen, so erscheint es bei der Stellung, wo das Gesichtsfeld dunkel sein sollte, seiner ganzen Breite nach in einem für Drehung sehr empfindlichen Farbenton (couleur sensible, »Uebergangsfarbe«), eine Art violett. Stellt man dann die entgegengesetzt drehenden Platten, beide von gleicher Dicke, an ihre Stelle, so erscheint noch immer der empfindliche Farbenton. Wird eine Zuckerlösung eingeschaltet, und ist a der Drehungswinkel der Polarisationsebene, so muss der Analyseur um den $+a$ gedreht werden, bis der durch die Flüssigkeit zum Verschwinden gebrachte Farbenton wieder hergestellt wird. Ist die Zuckerlösung möglichst farblos und ohne fremde drehende Substanzen, so ist der Zuckergehalt dem Drehungswinkel a proportional. — Ist der Zuckergehalt für den Drehungswinkel von 1° gleich p Procent, so ist beim Drehungswinkel a der gesuchte Zuckergehalt $x = p \cdot a$ Procent.

b) Faraday machte die Entdeckung, dass durch die Einwirkung eines Magnetes oder eines electrischen um den Körper, durch den das polarisirte Licht geht, in isolirten Windungen geführten Stromes die Polarisationsebene im Sinne des Stromes abgelenkt wird.

§. 42. **Physiologische und chemische Wirkungen des Lichtes.** Das Licht vermag nicht nur auf das Sehorgan einzuwirken und die Gegenstände sichtbar zu machen, sondern greift

auf eine noch nicht hinlänglich erforschte Weise in das Walten der Natur im Grossen ein. Das Licht befördert manche chemische Verbindungen, bewirkt aber auch chemische Zerlegungen. Als chemisch wirkende Strahlen zeichnen sich vorzüglich die am violetten Ende des Spectrums aus.

Ein Gemenge aus Chlor- und Wasserstoffgas in einem farblosen Glase bleibt im Dunkeln lange unverändert, die Gase vereinigen sich aber am Tageslichte ziemlich schnell zur Salzsäure, im Sonnenlichte aber plötzlich und zwar mit heftiger Verpuffung. Chlorsilber wird unter Einwirkung des Lichtes zuerst violett, dann schwarz und endlich scheidet sich metallisches Silber aus.

Das Licht ist der Erfahrung zufolge eine wesentliche Bedingung des Gedeihens des Pflanzen- und Thierlebens. Nur unter Einwirkung des Sonnenlichtes wird die von den grünen Theilen der Pflanzen aus der Atmosphäre aufgenommene Kohlensäure zerlegt, der Kohlenstoff zu ihrer Nahrung verwendet, der Sauerstoff aber ausgeschieden.

§. 43. **Photographie.** Die Veränderungen, welche Chlor-, Brom-, Jodsilber und salpetersaures Silberoxyd durch den Einfluss des Lichtes erleiden, haben zur Erfindung der Kunst Veranlassung gegeben, die Bilder der Camera obscura zu fixiren und dadurch Abbildungen von Gegenständen zu gewinnen. — Daguerre's Erfindung, Lichtbilder auf Metallplatten zu erzeugen, heisst Daguerreotypie. Talbot's Verfahren, sie auf eigens dazu bereitetem Papiere zu fixiren, nennt man vorzugsweise Photographie. Niepçe hat die weitere Entdeckung gemacht, Bilder an dem mit thierischem Leim (Kleister und Eiweiss) überzogenen Glase hervorzurufen.

a) Das Talbot'sche Verfahren. Das photographische Papier wird so zubereitet, dass die vom Lichte getroffenen Stellen in dem Maasse an Dunkelheit zunehmen, als die Intensität des einwirkenden Lichtes wächst. Dieses Papier wird noch im feuchten Zustande zwischen zwei Glastafeln gelegt und unter Abhaltung des Tageslichtes in eine gute Camera obscura gebracht und so eingesetzt, dass das Bild des Gegenstandes auf demselben scharf ausgeprägt erscheint. Die Zeit der Einwirkung ist immer sehr kurz und beträgt nur einige Secunden, muss aber bei jedem Instrumente nach der Tageshelle und der Lichtstärke der Linse erst

ermittelt werden. Man nimmt es wohlverdeckt aus der Camera obscura und gibt es in concentrirte Gallussäure oder Eisenvitriol, um das Bild hervorzurufen, indem diese Substanzen an den vom Lichte getroffenen Stellen das im Papiere vorhandene Silbersalz zersetzen, metallisches Silber in feinster Zertheilung ausscheiden, also die Stellen schwärzen, während die vom Lichte nicht getroffenen Theile unverändert bleiben. — Dann wird es mit destillirtem Wasser ausgewaschen und darnach durch Uebergiessen mit unterschwefligsaurem Natron fixirt, d. h. gegen weitere Einwirkung des Lichtes unempfindlich gemacht, indem die lichtempfindlichen unzersetzten Salze weggenommen werden. — Das fixirte Bild wird wieder ausgewaschen und zwischen Fliesspapier getrocknet. An dem so erhaltenen Bilde erscheinen die hellen Theile des Originals dunkel, die dunklen aber hell, und man nennt es deshalb ein negatives Bild.

Um ein mit dem Original hinsichtlich der Beleuchtung übereinstimmendes, sogenanntes positives Bild zu erhalten, macht man das Papier mit dem negativen Bilde mittelst eines Gemisches von Wachs und Fett transparent, legt es mit der Bildseite auf ein anderes chemisch präparirtes Papier, schliesst beide zwischen Glasplatten ein und setzt sie der Einwirkung des Sonnenlichtes eine bestimmte Zeit aus, aber so, dass das Licht durch das negative Bild auf das photographische Papier wirkt; dadurch entsteht auf letzterem ein positives Bild. Das positive Bild wird in einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron fixirt und zwar lässt man es so lange darin, bis es nicht mehr kräftiger hervortritt. Zuletzt wäscht man es mehrere Mal mit destillirtem Wasser aus.

Das photographische Papier für das negative Bild bereitet man nach Martin, indem man die glatte Seite eines feinen, möglichst reinen Maschinenpapiers zuerst eine Minute mit der Oberfläche einer Jodkaliumlösung, 1 Loth in 20 Loth destillirten Wassers, der man beiläufig 10 Tropfen Cyankaliumlösung zugesetzt hat, in Berührung bringt. Hierauf trocknet man das so benetzte Papier mittelst Löschpapier und legt es mit derselben Seite, aber höchstens zehn Secunden lang, auf eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd, von $1\frac{1}{4}$ Loth in 20 Loth destillirten Wassers, der man einige fünf Grane kohlensaures Natron zugesetzt hat. — Für das positive Bild wird das Papier mit der glatten Seite zuerst in eine Kochsalzlösung, von $\frac{2}{3}$ Loth in 20 Loth destillirten Wassers, gebracht, dann mit Löschpapier abgetrocknet und noch mit einer Lösung von salpetersaurem Silberoxyd, von 2 Loth in 20 Loth destillirten Wassers, in Berührung gebracht.

b) In neuester Zeit erzeugt man die negativen Bilder meist auf Glasplatten, die mit Collodiumlösung übergossen werden (von 2 Gran Jodkalium in 2 Unzen Collodium). Diese Lösung wird sorgfältig auf eine ganz ebene reine Glastafel gegossen, so dass sie gleichmässig vertheilt erscheint. Sodann kommt die übergossene Glastafel in ein Bad von salpetersaurem Silberoxyd (ein Theil in 16 Theile destillirten Wassers); dann bringt man sie vor Einwirkung des vollen Tageslichtes verwahrt in die Camera obscura, worin sie einige Secunden der Einwirkung des Lichtbildes ausgesetzt wird. Hernach wird sie wohlverwahrt in ein verfinstertes Kabinet gebracht und bei schwachem Kerzenlichte mit Pyrogallussäure, der etwas Essigsäure zugesetzt wird, hervorgerufen, mit Wasser übergossen, und endlich mittelst unterschwefligsaurem Natron fixirt und wieder gewaschen. — Das positive wird leicht auf die schon angegebene Weise erzeugt, indem das dünne Collodiumhäutchen bei gleichmässiger Dicke überall gleichförmig durchscheinend ist.

Zehnter Abschnitt.

Wärme.

§. 1. **Wärme und Temperatur.** Wärme nennt man die Ursache des allen Körpern eigenthümlichen Zustandes, durch den sie in uns die Empfindung von Wärme und Kälte erregen. Dabei darf aber nicht übersehen werden, dass das, was wir Wärme und Kälte zu nennen gewohnt sind, als Wirkung der Wärme der Körper betrachtet werden muss.

Den jedesmaligen Zustand der Wärmeerscheinung an einem Körper nennen wir den Wärmezustand. Die Erfahrung lehrt uns, dass der Wärmezustand eines Körpers verschiedener Abstufungen oder Grade fähig ist. Den Grad des Wärmezustandes eines Körpers nennen wir seine Temperatur.

§. 2. **Mittheilung der Wärme.** Umgibt man einen Körper von bestimmter Temperatur mit kältern Körpern, so zeigt die Erfahrung, dass die Temperatur desselben abnimmt; umgibt man

ihn aber mit wärmern Körpern, so nimmt seine Temperatur zu. — Dasselbe geschieht im Innern der Körper, denn wenn sich der Körper von einer Seite wärmt, dringt die Erwärmung im Innern allmälig von Schichte zu Schichte weiter. Wir schliessen daraus, dass die Wärme von einem Körper zum andern oder von Schichte zu Schichte übergeht und nennen diesen Vorgang Mittheilung der Wärme.

Als den Grund der Mittheilung der Wärme müssen wir das Bestreben derselben ansehen, sich in ein solches Gleichgewicht zu setzen, wobei in der ganzen Umgebung dieselbe Temperatur herrscht.

Da sich die Temperatur der Umgebung immer ändert und mit ihr das Gleichgewicht der Wärme, so pflegt man es das bewegliche Gleichgewicht der Wärme zu nennen.

§. 3. **Wärmeleitung und Strahlung.** a) Wie zwischen entfernten Körpern von verschiedener Temperatur, so findet auch zwischen den ungleich warmen Theilchen eines Körpers im Innern desselben eine Mittheilung der Wärme statt. Die im Innern eines Körpers von Theilchen zu Theilchen sich verbreitende Wärme nennt man geleitete Wärme, und den Vorgang der Mittheilung der Wärme im Innern eines Körpers Wärmeleitung. In Folge der Wärme, die sich durch Leitung in einem Körper verbreitet, erwärmen sich die Theilchen desselben.

b) Es gibt jedoch noch eine andere Art der Verbreitung der Wärme, bei der sich die dazwischen befindlichen Körper nicht erwärmen, wie z. B. die Luft beim Durchgange der Sonnenstrahlen. Diese Art der Wärmefortpflanzung zeigt die grösste Aehnlichkeit mit der Fortpflanzung des Lichtes, daher nennt man diesen Vorgang Wärmestrahlung und die dabei auftretende Wärme strahlende Wärme.

Dieser Unterschied der Verbreitung und Mittheilung der Wärme ist jedoch nicht in der Wärme selbst, sondern in dem Verhalten der Körper zur Wärmeursache zu suchen, indem die Erfahrung lehrt, dass die strahlende Wärme, z. B. die Sonnenwärme, einen Körper von Schichte zu Schichte erwärmt, d. h. in geleitete übergeht und aus dem erwärmten Körper entweder wieder als strahlende oder geleitete Wärme austritt, je nach Beschaffenheit seiner Umgebung. — Bringt man vor eine

Glasplatte einen erhitzten Körper, so dringen augenblicklich die Wärmestrahlen durch und wirken auf der andern Seite auf ein empfindliches Thermometer, ohne dass dadurch die Glasplatte merklich erwärmt wird. Aber nach und nach erwärmen sich die Massentheilchen der Glasplatte bis zur abgewendeten Seite und die Glasplatte verbreitet nun selbst strahlende Wärme.

Die Wärme kann sonach einem Körper auf zwei Arten mitgetheilt werden, durch Leitung und durch Strahlung.

§. 4. **Verbreitung der Wärme durch Leitung.** In einigen Körpern verbreitet sich die Wärme von der Wärmequelle, mit der sie in Berührung gebracht werden, sehr schnell durch ihre Masse, in andern aber nur langsam. Man unterscheidet daher unter den Körpern insbesondere gute und schlechte Wärmeleiter. Gute Wärmeleiter entziehen die Wärme schnell der Wärmequelle, geben sie aber ebenso schnell an die nächste Umgebung ab; schlechte nehmen von der Wärmequelle nur langsam die Wärme weg und treten sie auch ebenso langsam an die benachbarten Körper ab.

Am besten leiten Metalle die Wärme; Steine leiten sie besser als Holz, welches man schon zu schlechten Wärmeleitern zählt, dergleichen sind: Stroh, Glas, Schnee, Laub, Seide, Haare, Federn, Wolle, Pelzwerk, Leder, ruhig stehende Luft etc.

Körper von verschiedener Leitungsfähigkeit, die sämmtlich die Temperatur der sie umgebenden Luft haben, erscheinen doch für das Gefühl verschieden warm, wenn wir sie in die Hand nehmen, und zwar fühlen sich die bessern Leiter kälter an als die schlechtern. Der Grund liegt darin, dass die bessern Wärmeleiter der Hand mehr Wärme entziehen, als die schlechtern. Darum müssen steinerne Fussböden zur Winterszeit mit Brettern belegt, so wie Werkzeuge, die man grosser Hitze aussetzt, mit hölzernen Handgriffen versehen werden. Junge Bäume, der Luft ausgesetzte Wasserleitungen umgibt man mit schlechten Leitern, z. B. mit Stroh, um sie vor Frost zu schützen.

Beispiele schlechter Leiter.

Es sind Fälle vorgekommen, dass glühende Lava über eine Schichte von der Asche des Vulkans dahin floss, ohne dass ein unter der Asche gelagertes Eis geschmolzen wäre. Die für Kanonenladungen glühend gemachten Kugeln kann man auf Sand liegend in hölzernen Karren heranführen.

Eis wird in Sägespäne verpackt, um es vor dem Schmelzen zu schützen. In Fällen, wo man Sägespäne oder Spreu wegen Gefahr einer Entzündung nicht brauchen kann, verwendet man vortheilhaft gemahlenen Gyps. Gyps ist schon im festen Zustande ein viel schlechterer Leiter als Sanderde, daher derselbe, wie jeder Körper in gepulvertem Zustande, ein noch schlechterer Wärmeleiter wird.

a) Um die Gesetze der Wärmeleitung zu ermitteln, sind unter Anderen von Biot und Despretz Versuche angestellt worden. In einer mässig dicken Metallstange wurden gleichweit abstehende Vertiefungen angebracht, mit Quecksilber gefüllt, in jede die Kugel eines Thermometers gesetzt und das eine Ende in eine Wärmequelle von constanter Temperatur gestellt. Die Wärme steigt anfangs an allen Stellen der Metallstange, nimmt aber endlich einen unveränderlichen Stand an, ungeachtet des Wärmezuflusses. In diesem Zustande muss die durch Strahlung der erwärmten Metallstange an die Luft abgegebene Wärmemenge gerade so gross sein, wie die in derselben Zeit von der Wärmequelle erhaltene. Bei diesem stationären Stande der Temperatur zeigen die Thermometerangaben, dass an Stellen, deren Abstände von der Wärmequelle eine zunehmende arithmetische Progression bilden, die Temperaturen in einer geometrischen Progression abnehmen.

Die Wärmeleitungsfähigkeiten verschiedener Körper lassen sich jedoch nur dann vergleichen, wenn der Verlust an die Umgebung bei allen dadurch gleichmässig gemacht wird, dass man ihnen gleiche Oberflächen gibt und sie mit Firniss überzieht. Dann verhalten sich nach Despretz die Leitungsfähigkeiten nahe so zu einander, wie die Quadrate der Entfernungen der Wärmequelle von denjenigen Stellen, für welche bei stationärem Stande die Temperaturunterschiede bezüglich der Luft einander gleich sind.

Nach diesem Gesetze fand Despretz, dass sich die Wärmeleitungsfähigkeit nachfolgender Metalle beziehungsweise durch die beigesetzten Zahlen ausdrücken lässt: Gold 1000, Platin 981, Silber 973, Kupfer 898, Eisen 374, Zink 363, Zinn 304, Blei 179, Marmor 23, Porzellan 12, Mauerstein 11, Wasser 9. — Ein in Theilchen getheilter Körper erscheint als ein schlechterer Leiter, als im compacten Zustande. Daraus wird begreiflich, dass Moos, Flaumfedern, das feine Pelzwerk der Thiere, die poröse Rinde der Bäume schlechte Wärmeleiter sind.

b) **Warmeleitung der Flüssigkeiten.** Von oben erwärmte flüssige Körper gehören zu den schlechten Wärmeleitern, von unten erwärmte aber zu den guten, da im letztern Falle die untern specifisch leichter gewordenen Theile in der Flüssigkeit aufwärts steigen und die schwerern kältern ihre Stelle an der Wärmequelle einnehmen. Diesen Vorgang nennt man Wärmeleitung oder besser Fortführung der Wärme durch Strömung. Durch die Strömung kommen in jedem Augenblicke neue Theilchen der Flüssigkeit mit der Wärmequelle in Berührung und die Erwärmung geht schnell vor sich.

Aus der Strömung ist ersichtlich, dass in einem geheizten Locale die Luft oben an der Decke am wärmsten, am Fussboden aber am kältesten ist. Damit die am Boden befindliche kälteste Luftschichte auch erwärmt werde, muss der Ofen möglichst nahe am Fussboden beginnen. Auf der Strömung der erwärmten Luft beruht die Meissner'sche Luftheizung. Das Wesentliche dieser Beheizungsmethode besteht darin, dass man den Ofen mit einem irdenen oder metallenen Mantel umgibt, so das zwischen beiden ein freier Raum von etwa sechs Zoll für den Luftstrom gelassen ist. Der Mantel ist unten am Boden mit Oeffnungen versehen, durch welche die kalte Luft in den Zwischenraum tritt, sobald die ursprünglich darin vorhandene Luft erwärmt wird, in die Höhe steigt und durch eine im obern Mantel angebrachte Oeffnung entweicht. So beginnt eine fortdauernde Strömung, indem die unterste, also kälteste Luft beständig dem Ofen zugeführt wird. Dadurch stellt sich bald eine grössere Gleichförmigkeit in der Temperatur der Luftmasse im Locale her, als dies bei der gewöhnlichen Beheizung der Fall ist. — In grössern Gebäuden, wo mehrere Zimmer zu beheizen sind, befindet sich der Ofen in einer wohl verschlossenen Kammer. Vom höchsten Theile der Heizkammer gehen Leitungsröhren in die zu heizenden Zimmer und führen ihnen warme Luft zu. Diese Leitungsröhren münden etwas über dem Fussboden, während durch die am Boden angebrachten Röhren die kalte Luft in den untern Theil der Heizkammer geführt und dort erwärmt wird, und sodann durch die obere Röhre zurückkommt. Die Temperatur des Zimmers lässt sich durch Oeffnen und Schliessen der Röhren nach Belieben reguliren.

Man kann sich aber auch der Strömung des ungleich warmen Wassers zur Beheizung bedienen, wie dies in Bädern und Treibhäusern vorkommt. Durch die zu heizende Localität geht eine Röhrenleitung, deren eines Ende, durch welches das warme Wasser in die Localität geführt werden soll, im oberen Theile eines Kessels, das andere, durch welches das in der Leitung abgekühlte Wasser zurückkommt, am Boden des Kessels mündet.

§. 5. **Verbreitung der Wärme durch Strahlung.** Die Verbreitung der strahlenden Wärme ist im Allgemeinen an dieselben Gesetze gebunden, wie die des Lichtes; daher können wir ebenso

gut von **Wärmestrahlen** wie von Lichtstrahlen reden. Das Sonnenspectrum könnte man ebenso gut ein **Wärmespectrum** nennen, denn nach Tyndall umfassen die Wärmestrahlen einen grössern Theil des Spectrums als die sichtbaren Sonnenstrahlen.

Gelangen die Wärmestrahlen an die Oberfläche eines Körpers, so kehrt, wie bei Lichtstrahlen, ein Theil in das alte Medium zurück, d. h. ein Theil wird **reflectirt**; der Rest dringt in den Körper ein, während er wie das Licht eine Brechung erleidet. Von den eingedrungenen Wärmestrahlen wird wieder ein Theil in dem Körper zurückgehalten oder **absorbirt**, ein anderer Theil aber **durchgelassen**.

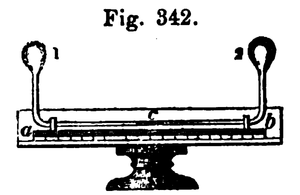
Körper, welche Wärmestrahlen durchlassen, nennt man **diathermane**; hingegen **athermane**, wenn sie dieselben zurückhalten. Demnach wird die Wärme beim Durchgange durch jeden Körper geschwächt, und man hat an jedem Körper bezüglich der strahlenden Wärme zu beachten: 1. ein Ausstrahlungs-, 2. ein Reflexions-, 3. ein Absorptions- und 4. ein Transmissions- oder Durchlassungsvermögen.

§. 6. **Instrumente zur Untersuchung der strahlenden Wärme.** Um die Gesetze der strahlenden Wärme durch Versuche zu ermitteln und das Verhalten der Körper zu derselben genau nachweisen zu können, bedient man sich eigener Instrumente: der **Differential-Thermometer** von **Rumford** und **Leslie** und vorzüglich des **Melloni'schen Thermo-Multiplicators**.

Differential-Thermometer sind Luftthermometer, an denen sich kleine Temperaturunterschiede beobachten lassen.

a) **Das Rumford'sche** (Fig. 342) besteht aus einer rechtwinkelig gebogenen Glasröhre, an deren Enden dünne Glaskugeln angeblasen sind. In der ziemlich langen Verbindungsröhre *ab* befindet sich eine kleine Menge als Index *c* dienender gefärbter Schwefelsäure, deren Dünste eine unmerkliche Spannkraft haben. Wird nun die eine Kugel der Wärmeeinwirkung ausgesetzt, während die andere die Temperatur der atmosphärischen Luft behält, so rückt der Index, durch den Zuwachs an Expansivkraft der innern Luft getrieben, von der erwärmten Kugel

Fig. 342.



hinweg, so lange bis die Expansivkraft in beiden Kugeln gleich geworden ist. Aus dem Stande des Index kann man an einer Scala den Temperaturunterschied ablesen.

Ist v der Zuwachs des ursprünglichen Volumens V_1 der Luft in der einen Abtheilung in Folge der Erwärmung, E die Expansivkraft nach der Erwärmung, e aber vor derselben, V_2 das ursprüngliche Volumen in der zweiten Abtheilung und t die Temperaturänderung in der erwärmten Kugel, so ist nach dem Mariotte- und Gay-Lussac'schen Gesetze:

$$E : e = \frac{1 + \alpha t}{V_1 + v} : \frac{1}{V_1} \text{ und } E : e = V_2 : (V_2 - v), \text{ daraus}$$

$$v = \frac{V_1 V_2 . \alpha t}{V_1 + V_2 + V_1 \alpha t}.$$

Beträgt der Temperaturunterschied t nur wenige Grade, so ist $V_1 \alpha t$ im Vergleich zu $V_1 + V_2$ zu vernachlässigen, mithin

$$v = \frac{V_1 V_2 . \alpha t}{V_1 + V_2} \text{ und daraus } t = \frac{(V_1 + V_2)\, v}{V_1 V_2 \alpha} \ldots (1).$$

Ist t' der Temperaturunterschied in einem zweiten Falle, wo der Zuwachs an Volum v' ist, so ist auch

$$t' = \frac{(V + V_2)\, v'}{V_1 V_2 \alpha}, \text{ folglich } t : t' = v : v'.$$

Ist die Röhre cylindrisch und bedeuten l, l' die Längen von v, v', d. h. die Grösse der Verschiebung des Index, so ist

$$t : t' = l : l', \text{ und für } t' = 1^0 \text{ folgt } t = \frac{l}{l'} \ldots (2).$$

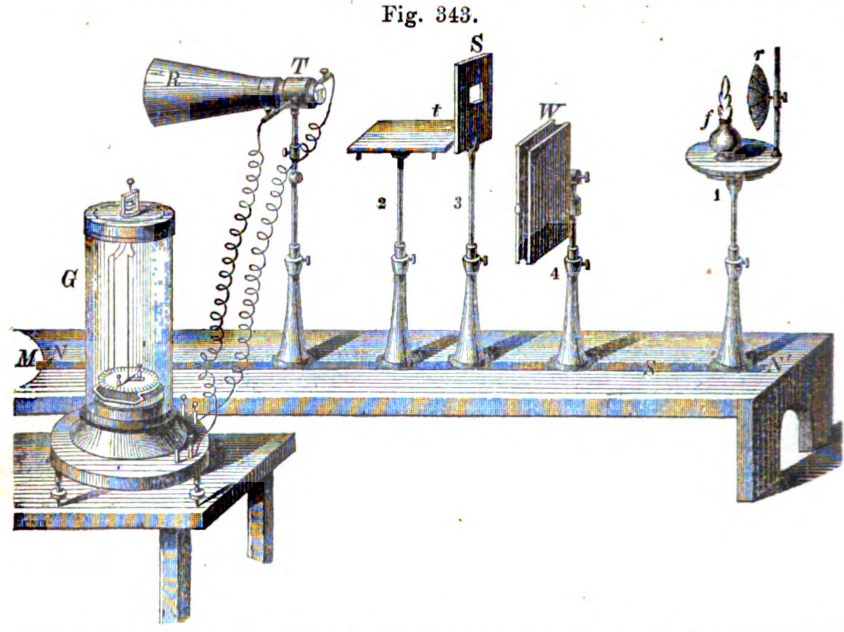
Bestimmt man die Verschiebung l' für 1° C., indem man beide Kugeln in zwei Gefässe mit Wasser hält, deren Temperatur um 1° C. verschieden ist, und trägt diese Länge l' auf der horizontalen Röhre auf, so gibt die Scala unmittelbar den Temperaturunterschied an.

b) An Leslie's Differential-Thermometer, dessen untere Röhre mit Schwefeläther gefüllt, der obere Theil und die Kugeln aber luftleer gemacht sind, sind die verticalen Arme lang und unten nur durch ein kurzes Röhrenstück verbunden; die Flüssigkeit füllt die Arme grösstentheils aus und die Scala ist an demjenigen verticalen Arme angebracht, dessen Kugel mit Kienruss geschwärzt ist und erwärmt werden soll. — Auch bei diesem gilt die Gleichung (2), wenn l und l' die Höhenunterschiede sind.

2. Ein empfindlicheres und genaueres Instrument zur Untersuchung der strahlenden Wärme ist Melloni's Thermo-Multiplicator (Fig. 343). Die Hauptbestandtheile desselben sind: eine kleine Thermosäule T, deren Pole mit einem sehr empfind-

lichen Multiplicator *G* verbunden werden, und ein in Millimeter getheilter Stab *NN'*, auf dem mehrere verschiebbare

Fig. 343.



Stative stehen. Das Stativ *1* trägt eine Lampe, eine glühende Drahtspirale oder eine andere Wärmequelle im Brennpunkte des Hohlspiegels *r*; *4* hält einen Schirm *W* aus zwei gut polirten Metallplatten, die um ein Charnier drehbar sind, um nach Belieben den Strahlen den Weg zum Schirm *S* am Stative *3* abzusperren oder offen zu lassen. Der Schirm *S* hat eine quadratische Oeffnung, um ein Strahlenbündel von bestimmtem Durchmesser durchzulassen; hinter ihm ruht am Stative *2* das Tischchen *t* zum Aufstellen verschiedener Gegenstände, deren Transmissionsvermögen man untersuchen will. Hinter dem Tischchen ist endlich die an den Löthstellen sorgfältig mit Kienruss geschwärzte Thermosäule, weil Kienruss sie fähig macht, fast alle auffallenden Wärmestrahlen zu absorbiren.

Beim Gebrauche wird an die Thermosäule ein Reflector *R* angesetzt, es ist ein konisches, inwendig wohl polirtes Rohr, dessen Wände die auffallenden Wärmestrahlen durch Reflexionen den Löthstellen zuführen.

Nach Melloni ist die Stromstärke der Thermosäule der Temperaturdifferenz direct proportional, und die Ablenkung der Magnetnadel von 0° bis 20° ist der Stromstärke, folglich auch der Intensität der Wärmestrahlen, direct proportional. Bei grössern Ablenkungswinkeln findet diese Proportionalität nicht mehr statt und muss an jedem Instrumente besonders der Werth der höhern Angaben des Multiplicators ermittelt werden. — Melloni stellte daher die Thermosäule zwischen zwei Wärmequellen, die eine brachte für sich eine Ablenkuug von 40° nach rechts, die andere 15° nach links, beide zugleich 35° nach rechts; folglich haben 5° zwischen 35° und 40° denselben Werth als 15° von Null an etc.

§. 7. **Geradlinige Fortpflanzung, Reflexion, Brechung und Polarisation der Wärmestrahlen.** a) Die Versuche mit dem Mellonischen Apparate lehren, dass die von der Wärmequelle ausgehenden Strahlen nur dann auf die Thermosäule treffen, wenn die Oeffnung des Schirmes *S* in der Verbindungslinie der Säule mit der Wärmequelle liegt, sonst nicht, — ein Beweis für ihre geradlinige Fortpflanzung. — Das Gesetz der Wirkung der von einer Wärmequelle nach allen Seiten ausgehenden Strahlen muss also dasselbe sein, wie das der Lichtstärke, denn es ist eine Folge der geradlinigen Fortpflanzung. Die Wirkung der Wärmestrahlen nimmt also im quadratischen Verhältnisse mit der Entfernung ab.

b) Lässt man die Wärmestrahlen schief auf den wohl polirten Schirm *W* auffallen, und stellt die Thermosäule in die Richtung, nach welcher das unter demselben Winkel auf *W* einfallende Licht reflectirt wird, so findet man, dass sie nur in dieser Richtung von den Wärmestrahlen getroffen wird, denn für die Stellung ausserhalb zeigt sich kein electrischer Strom. Es sind also auch die Gesetze der Reflexion der Wärme dieselben wie die des Lichtes. — Dasselbe kann mit jeder polirten oder spiegelnden Fläche nachgewiesen werden. Stellt man z. B. in den Brennpunkt eines Hohlspiegels eine stark erhitzte Metallkugel, so werden die Wärmestrahlen parallel mit seiner Axe reflectirt; treffen sie auf einen zweiten Hohlspiegel, dessen Axe mit der des ersten zusammenfällt, so werden sie wieder in seinem Brennpunkte vereinigt, gerade so wie die Lichtstrahlen; denn es werden daselbst ange-

brachte Körper stark erwärmt oder angezündet, wie z. B. ein Feuerschwamm, Schiesspulver etc.

c) Bringt man auf das Tischchen des Apparates ein Steinsalzprisma und lässt Wärmestrahlen darauf fallen, so findet man mit der Thermosäule die austretenden Strahlen in derselben Richtung, in welcher Lichtstrahlen austreten würden, woraus wir schliessen, dass auch die Brechungsgesetze des Lichtes auf die Wärme ihre Anwendung finden. — Die Versuche lehren, dass auch die Wärmestrahlen nicht alle gleich brechbar sind, denn man bekommt ein Wärmespectrum wie bei der Brechung des Lichtes. Die Wärmestrahlen sind desto brechbarer, je höher die Temperatur des Körpers ist, der sie ausstrahlt. Ein leuchtender Körper gibt ein Licht- und Wärmespectrum zugleich, aber es zeigen sich die Wärmestrahlen weniger brechbar als die Lichtstrahlen, denn es fällt der grössere Theil des Wärmespectrums über die rothen Strahlen hinaus.

d) Auch die Polarisation durch doppelte Brechung findet sich an Wärmestrahlen wieder. Lässt man auf ein System paralleler Glimmerplättchen Wärmestrahlen unter dem Winkel von 33° auffallen, so erhält man polarisirte Wärme, denn sie verliert dadurch die Fähigkeit wie vordem durchzugehen oder vollständig reflectirt zu werden. — Diese Thatsache drängt die Physiker zur Ansicht, dass strahlende Wärme wie das Licht auf Transversalschwingungen eines feinen elastischen Mediums, des Aethers, beruhe. Uebrigens darf nicht übersehen werden, dass das, was wir strahlende Wärme nennen, eigentlich noch keine Wärme ist, sondern eine Verbreitung jener Impulse, welche in den getroffenen Körpern Wärme hervorrufen können.

§. 8. **Ausstrahlungs- und Absorptionsvermögen der Körper.** Die Fähigkeit eines erwärmten Körpers, Wärmestrahlen der Umgebung mitzutheilen, nennt man Ausstrahlungs- und die Fähigkeit, die aus der Umgebung in ihn eindringenden Strahlen verschwinden zu machen, sein Absorptionsvermögen.

Es ist eine nothwendige Folge des beweglichen Gleichgewichtes der Wärme, dass Ausstrahlungs- und Absorptionsvermögen eines Körpers in einem geraden Verhältnisse stehen, so dass ein Körper, der in derselben Zeit *n*mal mehr Wärme ausstrahlt als ein anderer, auch *n*mal mehr absorbirt, denn sonst könnte von

einem Gleichgewichte der Wärme nicht die Rede sein. — Aus eben demselben Grunde nimmt das Reflexions- und Transmissionsvermögen mit dem Ausstrahlungs- und Absorptionsvermögen ab.

a) Das Ausstrahlungsvermögen hängt ab: 1. von der materiellen Beschaffenheit des die Wärme ausstrahlenden Körpers, und nimmt mit der Temperatur desselben zu; 2. von der Oberfläche, und zwar nimmt die Ausstrahlung mit ihrer Dichte und Glätte ab, mit der Rauhigkeit aber zu; 3. von der Farbe des ausstrahlenden Körpers, so dass die Ausstrahlung mit der Dunkelheit der Farbe zunimmt und am grössten bei schwarzer, am kleinsten bei weisser Farbe ist. — Tyndall behauptet dagegen, dass die Farbe keinen Einfluss habe. — Und von denselben Umständen hängt das Absorptionsvermögen ab.

Von der Richtigkeit der angeführten Umstände überzeugt man sich, wenn man ein kubisches Gefäss (Seebeck'scher Würfel genannt), dessen Seitenwände von verschiedenen Substanzen mit verschiedenen Oberflächen und Farben bestehen, mit heissem Wasser füllt und es an die Stelle der Wärmequelle in Melloni's Thermomultiplicator hinstellt und untersucht.

b) Hinsichtlich des Absorptions- und Transmissionsvermögens ist das Verhalten diathermaner Körper ganz eigenthümlich. Diathermane Stoffe lassen verschieden brechbare Wärmestrahlen in ungleicher Menge durch und verhalten sich dabei ähnlich wie die gefärbten Körper gegen das durchgehende Licht. Wie durchsichtige Körper gewisse Lichtstrahlen absorbiren und andere durchlassen, so auch diathermane die Wärmestrahlen. — Die Eigenschaft der Körper, gewisse Wärmestrahlen durchzulassen und die übrigen zu absorbiren, nennt man nach Melloni Diathermansie, auch Wärmefarbe oder Thermochrose.

Im Allgemeinen werden Wärmestrahlen von nicht leuchtenden Wärmequellen in grösserem Maasse absorbirt. So gehen die unmittelbar von der Sonne kommenden Wärmestrahlen leicht durch das Glas; dies vermögen sie jedoch nicht mehr so leicht, nachdem sie von einem Körper, der sie absorbirt hatte, wieder ausgestrahlt werden. Glas ist für dunkle Strahlen, wenn sie unter 100° C. stehen, adiatherman wie eine Metallplatte. Daraus erklärt sich der hohe Wärmegrad zwischen Glasfenstern etc. Aus der leichtern Absorbirbarkeit der von dunklen Körpern kommenden

Strahlen erklärt sich die Erfahrung, dass der Schnee unter Bäumen oder mit Erde bestreut früher schmilzt, als im offenen Felde.

Die Untersuchungen lehren, dass nur Steinsalz für die durchgehenden Wärmestrahlen wie das Glas für das Licht ein farbloses Medium ist, alle übrigen diathermanen Körper erscheinen bezüglich der Wärmestrahlen wie gefärbte Medien bezüglich des Lichtes. — Das Transmissionsvermögen richtet sich nicht nach der Durchsichtigkeit und Farbe eines Körpers, denn durch eine Steinsalzplatte gehen 92 Procent der auffallenden Wärme durch, durch eine ganz durchsichtige Alaunplatte von derselben Dicke nur 12 Procent, aber 57 Procent durch eine gleich dicke Platte von dunklem Rauchtopas. — Metallplatten sind für Wärmestrahlen ebenso wenig durchgängig wie für Licht.

So wie Steinsalz Wärmestrahlen von jeder Wärmequelle in gleichem Grade durchlässt, so absorbirt Kienruss und eine mit Kienruss überzogene Oberfläche alle Strahlen in gleicher und grösster Menge.

c) Abklärung der Wärmestrahlen. Ohne Absorption keine Erwärmung.

Lässt man das Licht der Sonne oder der electrischen Lampe durch Eis gehen, so absorbirt es den grössten Theil der Wärme und schmilzt. Leitet man aber vorher das Licht durch ein Gefäss mit Wasser, so erwärmt sich das Wasser von den aufgenommenen Wärmestrahlen, und nun gehen die durch das Wasser gegangenen Wärmestrahlen auch durch das Eis frei hindurch, ohne es zu schmelzen.

Lässt man das Licht durch eine Glaslinse hindurchgehen und dann durch die reine Glaskugel eines Differential-Thermometers, so gehen die durch die Linse gedrungenen Wärmestrahlen durch die Thermometerkugel ohne die geringste Wärme zu zeigen hindurch.

Die ursprünglichen Strahlen sind beim ersten Durchgange gleichsam „gesiebt“ oder abgeklärt worden und besitzen für denselben Stoff oder für einen, der dieselbe Gattung Strahlen durchlässt, eine grössere durchdringende Kraft.

Die Körper üben demnach auf die Aetherwellen eine auswählende Kraft aus, indem sie einzelne Wellen aussondern und in sich aufnehmen, andere aber durchgehen lassen.

Diese Versuche lehren zugleich, dass die Wärmestrahlen dort keine Wärme erzeugen, wo sie ohne Absorption frei hindurchgehen.

d) Absorption und Anstrahlung der Wärme durch Gase. Tyndall konnte durch sorgfältige Versuche keine merkliche Absorption der Wärmestrahlen weder in trockener Luft, noch in Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff nachweisen. Die zusammengesetzten Gase aber zeigen eine bedeutende Absorption und erwärmen sich in Folge der absorbirten Wärmestrahlen.

Bei dem Drucke von einer Atmosphäre absorbirt das Ammoniakgas wenigstens 1195mal mehr Wärme als die Luft; das ölbildende Gas 970mal und die Kohlensäure 90mal mehr.

Die Ausstrahlung der Gase fand Tyndall proportional ihrer Absorption.

Tyndall hat durch Versuche gezeigt, dass der in Gasform in der Atmosphäre enthaltene Wasserdampf, der etwa 0·45 Procent derselben ausmacht, in einer 10 Fuss dicken Luftschichte schon an 10 Procent der hindurchgehenden strahlenden Wärme absorbirt. — Wichtig für die Meteorologie, denn so wie der Wasserdampf begierig Wärme absorbirt, so strahlt er sie reichlich aus; beim Aufsteigen in die Höhe mangelt ein Ersatz für diese Ausstrahlung, daher diese Eigenschaft des Dampfes die abkühlende Wirkung der sich ausdehnenden Luft noch vermehrt und Bildung von Niederschlägen, wie Wolken an den Berggipfeln etc., beschleunigt.

Ueber den hohen Bergen breitet sich keine Dampfmasse von genügender Dichte aus, um ihre Wärme aufzufangen, und die Luft fängt keine auf, daher strömt die Wärme dort fast ungehindert in den Weltraum aus. Die hohen Berggipfel kühlen sich daher stark ab und wirken als Condensatoren auf die mit feuchten Winden ankommenden Wasserdünste.

Die ausserordentliche Ausstrahlungskraft des Wassers in allen seinen Aggregationsformen spielt eine wesentliche Rolle in den Bergregionen.

Es strahlt der Dampf seine Wärme gegen den Raum hinaus und befördert die Condensation; als Flüssigkeit strahlt es seine Wärme in den Raum und befördert das Gefrieren, und auch als

Schnee strahlt es seine Wärme aus und verleiht dadurch der kalten Region grössere Condensationskraft.

Auch in den niedern Regionen ist es nur die absorbirende dichte Dampfschichte, welche die Erdoberfläche vor einer ähnlichen Abkühlung durch Ausstrahlung schützt, denn die Luft selbst lässt die strahlende Wärme ungehindert fort entweichen.

§. 9. **Wirkungen der Wärme: Ausdehnung und Aenderung der Aggregationsform.** Die Ursache der Wärme versetzt die Molecüle des erwärmten Körpers in den Zustand, in welchem sie abstossend auf einander wirken; daher man auch sagt: die Wärme vermehrt die Abstossungskraft zwischen den Molecülen. In Folge einer gesteigerten Wirkung der Wärme nimmt die Abstossung immer mehr zu, während die Cohäsion in demselben Verhältnisse geschwächt wird und die Molecüle aus einander weichen. Dadurch muss das System der Molecüle, d. i. der Körper sein Volumen erweitern, und man sagt: die Wärme dehnt den Körper aus.

In vielen Fällen kann die Ausdehnung des Körpers durch die Wärme so weit gesteigert werden, dass der ursprüngliche Zusammenhang der Molecüle ganz aufgehoben wird, wie dies beim Schmelzen und Verdampfen der Fall ist. — Wärme bringt also nicht nur eine Ausdehnung der erwärmten Körper hervor, sondern sie kann auch eine Aenderung des Aggregationszustandes bewirken.

Diese Thatsache der Aenderung des Systems der Molecüle eines erwärmten Körpers spricht für eine Bewegung der im Wärmezustande begriffenen Molecüle. Und wir schliessen daraus, dass die Ursache der Wärme in der lebendigen Kraft der Molecüle zu suchen sei.

§. 10. **Ausdehnung der Körper durch die Wärme.** Eine genaue Bestimmung der Ausdehnung fester Körper durch die Wärme ist für die technische Anwendung derselben von grosser Wichtigkeit, indem überall, wo bei einer Construction zwei Stoffe von verschiedener materieller Beschaffenheit mit einander verbunden werden, ihre ungleiche Ausdehnung berücksichtigt werden muss.

Um die räumliche Ausdehnung oder die Vergrösserung des Volumens zu erfahren, reicht es hin, die lineare Ausdehnung zu bestimmen. Es sei v das Volumen, a die lineare Ausdehnung des

Körpers vor der Erwärmung, μ der Zuwachs der Volumseinheit, c der Zuwachs einer Längeneinheit infolge der Erwärmung, und setzen wir voraus, dass die Ausdehnung des Körpers nach allen Seiten gleichmässig vor sich gehe, so sind die Volumina vor und nach der Erwärmung einander ähnlich und verhalten sich wie die dritten Potenzen der gleichnamigen Dimensionen, also ist

$$v : (v + v\mu) = a^3 : (a + ac)^3;$$

vernachlässigt man die zweiten und dritten Potenzen der kleinen Grösse c, so erhält man

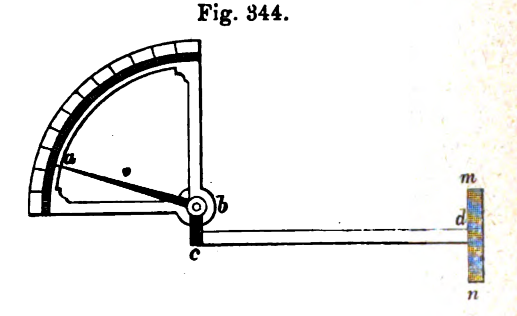
$$\mu = 3c,$$

d. h. der Zuwachs einer Volumseinheit ist gleich dem dreifachen Zuwachse einer Längeneinheit, ausgedrückt in Kubikmaass. — Ist für eine gewisse Temperatur die lineare Ausdehnung z. B. gleich $^1/_{1000}$ Linie, so ist die kubische gleich $^3/_{1000}$ Kubiklinien.

Der Zuwachs einer Längeneinheit bei der Temperaturerhöhung von 1° heisst der **lineare Ausdehnungs-Coëfficient** und das Dreifache desselben der **kubische** Ausdehnungs-Coëfficient.

a) Die lineare Ausdehnung eines festen Körpers kann man mit dem sogenannten **Pyrometer** (Fig. 344) bestimmen. mn ist eine **unverrückbare** Wand, gegen diese stemmt sich das eine Ende des zu untersuchenden Körpers cd, während das andere Ende auf den kürzern Arm eines Winkelhebels wirkt. Dehnt sich der Körper in Folge einer **gleichmässigen** Erwärmung aus, so bewegt er den Hebel, dessen grösserer Arm ab an einem Quadranten einen Bogen beschreibt, der abgelesen wird. Der kleine Bogen, den der Endpunkt des kürzeren Armes bc dabei beschreibt, ist das Maass der erfolgten Ausdehnung l. Hat der grössere Arm n Grade beschrieben und ist

Fig. 344.



$$a = \frac{ab \cdot \pi}{180^0}$$

die Länge eines Grades, so ist $n \,.\, a$ die Länge des beschriebenen Bogens, folglich

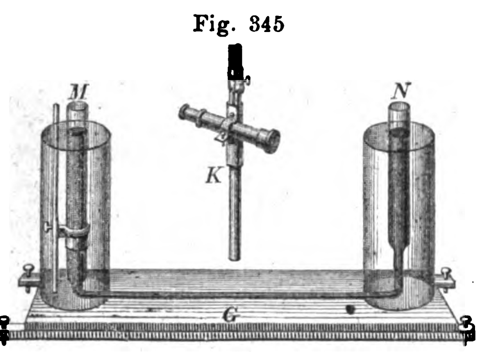
$$l : n\, a = bc : ab, \text{ daraus } l = n \,.\, \frac{bc}{ab}\, a = n \,.\, bc \,.\, \frac{\pi}{180} \quad \ldots (1).$$

Die Versuche lehren, dass die Ausdehnung der Metalle bei Temperaturen innerhalb des Fundamentalabstandes mit der Temperatur proportional erfolgt; bei Temperaturen über der Siedhitze dehnen sie sich aber in einem grössern Verhältnisse aus als die Temperatur zunimmt.

Sehr genaue Bestimmungen der Längenausdehnung wurden von Laplace und Lavoisier mit einem eigenen Apparate ausgeführt, bei welchem *mn* und *bc* von Glas waren. Der an der Stelle von *bc* angebrachte Glasstab trug an seinem obern Ende über dem Charnier ein Fernrohr, welches man auf eine Scala in bedeutender Entfernung richtete. Die Ausdehnung berechnete man aus der Anzahl der Scalentheile, welche der Faden des Fernrohrs während der Erwärmung der Stange durchlief.

b) Der kubische Ausdehnungs-Coëfficient tropfbarer Flüssigkeiten. Dulong und Petit haben ein Verfahren eingeführt, bei welchem die Volumvergrösserung der Flüssigkeit unabhängig von der Volumänderung des Gefässes ermittelt wird. Ein Communicationsgefäss (Fig. 345), dessen Glasarme *M* und *N* zur Vermeidung der Capillarwirkung wenigstens einen Zoll im Durchmesser haben, wird mit der zu untersuchenden Flüssigkeit zum Theile gefüllt. Die beiden Arme wurden in weitere Gefässe geschlossen, wovon man das eine mit Wasser oder Oel, dessen Temperatur man allmälig steigern konnte, dass andere mit zerstossenem Eise füllte, um seine Temperatur beständig auf 0° zu erhalten. Die Flüssigkeit steigt in Folge einer bestimmten Temperaturerhöhung bis zu einer bestimmten Höhe in dem einen Arme, während sie in dem andern ihren Stand nicht ändert, da die enge Verbindungsröhre *G* keine Mischung zulässt. Der Höhenunterschied wird mittelst eines sogenannten Kathetome-

Fig. 345



ters K gemessen, das aus einem horizontalen auf einer verticalen in Millimeter getheilten Säule auf und ab beweglichen Fernrohre besteht. Die Axe des Fernrohres wird vor und nach der Ausdehnung in das Niveau der Flüssigkeit gebracht und an der Scala die Höhe abgelesen.

So erhält man sehr genau die Höhen h und h_1 der kalten und erwärmten Flüssigkeit. Sind s und s_1 die den entsprechenden Temperaturen zugehörigen specifischen Gewichte, so hat man im Gleichgewichtszustande $hs = h_1 s_1$. Bezeichnet man mit P die Gewichtsmenge, welche im kalten Arme das Volumen V und im warmen das Volumen V_1 hat, so ist $P = Vs = V_1\ s_1$, mithin

$$V : V_1 = h : h_1 \text{ und } \frac{V_1 - V}{V} = \frac{h_1 - h}{h} \ldots (2),$$

d. i. die Vergrösserung einer Volumseinheit für die stattgehabte Temperaturerhöhung von t^0; also ist $\frac{h_1 - h}{ht}$ der kubische Ausdehnungs-Coëfficient der Flüssigkeit.

c) Die Ausdehnung der Flüssigkeiten ist grösser als die der festen Körper; die Grösse derselben hängt von der materiellen Beschaffenheit ab. Die Zunahme der Ausdehnung innerhalb des Fundamentalabstandes ist nicht bei allen Flüssigkeiten der Temperatur proportional, und wächst bei höheren Temperaturen immer in grösserem Verhältnisse als die Temperatur zunimmt. — Quecksilber dehnt sich nur von 0° bis 100° C. mit der Temperatur proportional aus, und zwar beträgt die Volumvergrösserung von 0° bis 100° C. $\frac{1}{55\cdot5}$ vom Volumen bei 0° C.

§. 11. **Gesetze der Ausdehnung durch Wärme. Anwendung.** a) Die Versuche haben zur Erkenntniss folgender Gesetze geführt: 1. Bei einer und derselben Temperaturerhöhung werden ausdehnsame Körper mehr ausgedehnt als tropfbare, und tropfbare mehr als feste. 2. Bei derselben Aggregationsform ist die Stärke der Ausdehnung von der materiellen Beschaffenheit abhängig. 3. Tropfbar- und ausdehnsam-flüssige Körper dehnen sich nach allen Richtungen gleich stark aus; dasselbe gilt von den nicht krystallisirten und jenen krystallisirten Körpern, die in das tessulare Krystallsystem gehören. 4. Die Körper dehnen sich nur innerhalb gewisser Temperaturgrenzen mit der Temperatur pro-

portional aus. 5. Die Volumänderung bei Erwärmung oder Abkühlung erfolgt mit so grosser Gewalt, dass sich selbst dicke Metallstangen biegen oder zerreissen, wenn sie nicht den nöthigen Spielraum haben.

b) Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme kommt im technischen Leben viele Male vor und muss gehörig berücksichtigt werden. Werden eiserne Platten, metallene Kessel, Pfannen etc. eingemauert, so müssen sie ringsum einen kleinen Spielraum haben, damit sie sich in der Hitze nicht krümmen und Sprünge bekommen. Eisenbahnschienen, gusseiserne Gas- und Wasserleitungsröhren dürfen nicht unveränderlich mit einander verbunden werden. Schmiede und Fassbinder pflegen eiserne Reife im erhitzten Zustande anzulegen, damit sie beim Abkühlen fest fassen etc.

c) Auch bei Längemessungen muss auf die Ausdehnung Rücksicht genommen werden. Will man z. B. bei einer geodätischen Operation, wo es auf grosse Genauigkeit der gemessenen Längen ankommt, mit einem Maassstabe von der Länge l eine Dimension L messen, so hat man zu berücksichtigen, dass jeder Maassstab nur bei seiner Normaltemperatur die richtige Länge hat. Diese Normaltemperatur ist meist $+ 13^0$ R., bei Metermaass aber 0^0 C. Aber auch die Dimension des Körpers muss meist auf eine gewisse Temperatur bezogen werden. Es handelt sich darum zu finden, wie viel Mal die wirkliche Länge l des Maassstabes in der Länge L des Körpers enthalten ist, also die Zahl $n = \frac{L}{l}$ zu bestimmen. — Nehmen wir der Allgemeinheit wegen an, es hätten sich beide Längen in Folge einer Temperaturerhöhung von t^0 verändert, c wäre der Ausdehnungs-Coëfficient für L, c_1 für l, so sind die veränderten Längen: $L\,(1 + ct)$ und $l\,(1 + c_1 t)$, folglich erhält man durch vorgenommene Messung eine andere Zahl n', so dass

$$L\,(1 + ct) = n' \, . \, l\,(1 + c_1 t)$$

ist, während $L = nl$ ist, folglich

$$n = \frac{n'.(1 + c_1 t)}{1 + ct} \text{ oder nahe } = n'\,(1 + c_1 t)\,(1 - ct).$$

Bei Messing ist $c = 0{\cdot}00001920$, bei Silber ist $c = 0{\cdot}00001909$,
„ Eisen „ $c = 0{\cdot}00001167$, „ Platin „ $c = 6{\cdot}00000856$,
„ Stahl „ $c = 0{\cdot}00001225$, „ Glas „ $c = 0{\cdot}00000862$.

d) Eine sehr sinnreiche Anwendung der ungleichen Ausdehnung und Zusammenziehung verschiedener Metalle sind die sogenannten Compensationen bei Pendel- und Taschenuhren. Jede Temperaturänderung kann die Lage des Schwerpunktes und mit ihm die des Schwingungsmittelpunktes ändern; durch die Compensationen soll nun der Schwingungsmittelpunkt bei allen Temperaturänderungen in demselben Abstande von der Drehungsaxe erhalten werden. — Am häufigsten ist das sogenannte Rostpendel (Fig. 346). Die Pendelstange sammt dem äussern Rahmen $abcd$ besteht aus Stahl. Das untere Querstück bd trägt zwei Zinkstäbe m und m_1, oben durch einen horizontalen Stab, an dem die Fortsetzung der Pendelstange hängt, verbunden. Tritt z. B. eine Erhöhung der Temperatur ein, so wird der Mittelpunkt der Linse durch die Ausdehnung der Stahlstäbe gf, ot und $ab = l$ tiefer gebracht, und soll durch die Ausdehnung der Zinkstäbe $= l_1$ ebenso viel gehoben werden. Sind c und c_1 die Ausdehnungs-Coëfficienten des Stahls und des Zinks, und setzt man $gf + of + ot = L$, oder da $of = l - l_1$ ist, und $gf + ot = a$ gesetzt wird, so $L = a + l - l_1$. Aber es findet die Compensirung statt, wenn $(a + l)\ c = l_1 \,.\, c_1$, folglich auch $(L + l_1)\ c = l_1\, c_1$, und daraus $l_1 = \dfrac{cL}{c_1 - c}$ die Länge der compensirenden Zinkstäbe. — Ausserdem gebraucht man auch die sehr genauen Quecksilber-Compensationen und Martin's Pendel-Compensation. Bei letzterer wird senkrecht auf die Pendelstange ein Doppelstreifen von Eisen und Kupfer befestigt, so dass Eisen nach oben gekehrt erscheint. Da sich Kupfer stärker ausdehnt als Eisen, so bildet sich bei einer Temperaturerhöhung ein nach oben gerichteter Bogen und hebt den Schwerpunkt, der durch Verlängerung der Pendelstange gesunken ist etc. Auf der Bogenbildung eines Doppelstreifens beruht auch die Unruhe-Compensation bei Taschenuhren.

Fig. 346.

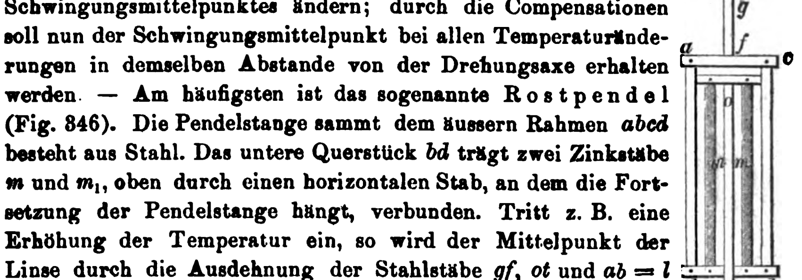
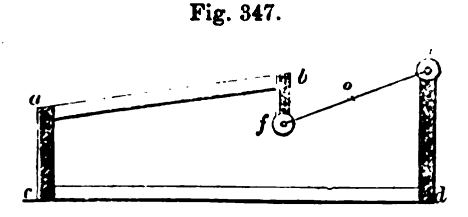


Fig. 347.



e) Auf der Bogenbildung von Doppelstreifen beruht ferner der sogenannte Thermostat, welcher den Zweck hat, die Temperatur in einem Raume, z. B. in einem Zimmer, bei der Luftheizung oder die eines Wasserbades, bei einer bestimmten Höhe zu erhalten. -- Fig. 347 mag eine Vorstellung davon geben. Bei a und c sind Doppelstangen ab cd aus Messing und Eisen angeschraubt, an denen die Messingseiten einander zugekehrt sind. Steigt die Temperatur, so biegen sich ihre Enden b und d auseinander und drehen mittelst Zugstangen den Hebel fe um o, der entweder einen Hahn in Bewegung setzt, durch den kaltes oder warmes Wasser zufliesst, oder auch die Schieber öffnet und schliesst, wodurch die warme Luft zuströmt.

f) Auch die **Metallthermometer** beruhen auf der ungleichen, aber der Temperatur proportionalen Ausdehnung zweier in Verbindung gesetzter Metalle und der daraus entspringenden Bogenbildung. Holzmann's Thermometer (Fig 348) besteht aus einem kreisförmigen Doppelstreifen aus Eisen und Messing, so dass das sich stärker ausdehnende Messing den äussern Bogen bildet; das eine Ende ist am Gehäuse bei *m* befestigt, das andere steht mittelst eines aufwärts gebogenen Bügels *pc* mit einem Winkelhebel *eod* in Verbindung, der mit den Zähnen seines Rechens *fg* in das mit dem Zeiger *uz* versehene Getriebe eingreift. Eine Spiralfeder erhält den Winkelhebel stets mit dem am Streifen befestigten Bügel *pc* in Berührung. Durch die Ausdehnung des Streifens wird der Rechen und durch ihn der Zeiger, der auf einer kreisförmigen Scala die Temperatur anzeigt, bewegt. Um die Scala anzufertigen, bestimmt man die Lage des Zeigers für zwei genau bestimmte Temperaturen, die man daselbst aufträgt und darnach den Bogen eintheilt. — Sehr empfindlich ist Brequet's Thermometer (Fig. 349); es besteht aus drei langen mit einander verbundenen und schraubenförmig zusammengewundenen Streifen von Platin, Gold und Silber, so dass Silber die Aussen-, Platin die Innenseite bildet. Dieser Metallstreifen wird an einem Gestelle von Messing befestigt und am untern Ende mit einem leichten Zeiger versehen, der sich über einer kreisförmigen an einer Scheibe verzeichneten Temperaturscala bewegt.

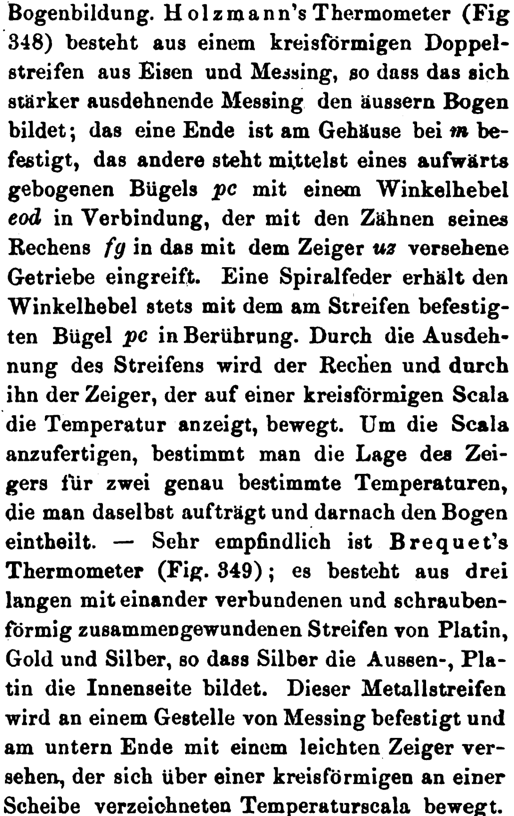


Fig. 348.

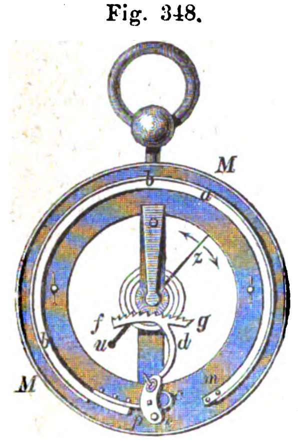
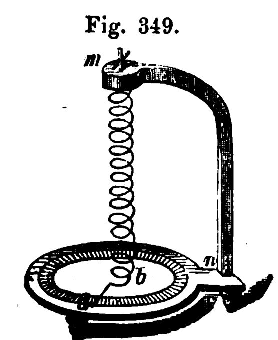


Fig. 349.



§. 12. **Verdampfung und Verdunstung.** 1. Durch fortgesetzte Erwärmung einer tropfbaren Flüssigkeit werden die Abstossungskräfte der Theilchen so sehr gesteigert, dass nicht nur die Cohäsion der Theilchen, sondern auch der auf ihnen lastende Druck überwunden wird; die Theilchen nehmen dann die Dampfform an und steigen als Bläschen in der Flüssigkeit empor. Die Dampfbläschen, die aus dem Innern der Flüssigkeit aufsteigen, veranlassen eine Wallung in der Flüssigkeit, die man das Sieden nennt.

Während dieser Umwandlung der tropfbaren Flüssigkeit in Dampf bleibt die Temperatur unverändert die nämliche, so dass

eine grössere Wärmemenge, die noch zugeführt wird, nur ein rascheres Verdampfen, aber keine Temperaturerhöhung zu bewirken vermag. Demnach wird die Wärme bei der Dampfbildung latent. Der Siedpunkt oder die Temperatur der siedenden Flüssigkeit hängt ab:

a) von der materiellen Beschaffenheit der Flüssigkeit und

b) von der Grösse des Druckes, welcher auf der Flüssigkeitsschichte lastet, denn die Flüssigkeit siedet erst, wenn der Dampfdruck gleich wird dem äussern Gegendrucke.

Daher siedet das Wasser in einem luftverdünnten Raume, aus dem die Dünste beständig entfernt werden, schon bei geringer Temperatur; der Siedpunkt desselben wird bei grösserm Luftdrucke grösser und nimmt mit der Erhebung über die Meeresfläche entsprechend dem Sinken des Barometers beständig ab; daher die Möglichkeit, aus dem auf einem Berge beobachteten Siedpunkte die Höhe desselben zu bestimmen.

Da bei der Erhebung über die Erdoberfläche der Luftdruck abnimmt, so nimmt dabei die Siedhitze ab. So siedet das Wasser im Hospiz auf dem St. Bernhard (7700′ Höhe) bei 72° R.; bei dieser Temperatur könnte aber das Rindfleisch nicht weich werden, daher bringt man es in einem geschlossenen metallenen Topfe, dem sogenannten Papin'schen Topfe, zum Sieden. — Papin machte seine Versuche um die Mitte des 17. Jahrhunderts. — Beweise der starken Abkühlung durch Verdunstung sind: die bedeutende Abkühlung der Luft nach einem Regen, das Sinken eines Thermometers, an dessen mit Leinwand oder Mousselin umhüllter Kugel Wasser verdunstet; unter dem Recipienten der Luftpumpe gefriert das Wasser in Folge der Abkühlung durch eigene Verdunstung etc.

Die von der Wärmequelle aufsteigenden Dampfbläschen dehnen sich mit der Annäherung an die Oberfläche mehr und mehr aus, weil die sie drückende Flüssigkeitssäule desto kleiner wird, je mehr sie sich erheben; sie treten an die Oberfläche mit einer Spannkraft, die dem jedesmaligen äussern Drucke gleich ist.

Können die Dämpfe an der Oberfläche nicht entweichen, so vermehren sie durch ihre Spannkraft den Druck auf die Flüssigkeit und bewirken, dass die von der Wärmequelle zuströmende Wärme die Temperatur der Flüssigkeit und die Abstossungskräfte der Theilchen wieder so sehr steigert, dass sie den grössern Druck zu überwinden vermögen, als Dampf sich erheben und die Dichte sowie die Spannkraft des bereits vorhandenen Dampfes erhöhen. Auf diese Art kann die Temperatur einer Flüssigkeit und die

Spannkraft der entstandenen Dämpfe sehr bedeutend gesteigert werden, wie z. B. im Papinian'schen Topfe, den man benützt, um die auflösende Kraft von Flüssigkeiten zu erhöhen, weshalb man ihn auch Digestor nennt.

Da die Steigerung der Temperatur die Verdunstung ebenso unterstüzt wie die Verminderung des äussern Druckes, und die Erfahrung lehrt, dass je lebhafter die Verdunstung, desto stärker die Abkühlung ist, so schliessen wir, dass sich die Wärme als eine den Druck überwältigende bewegende Kraft den Flüssigkeitstheilchen mittheilt, die den Zustand der Dunstform erhält.

c) Bei Salzlösungen müssen die Theilchen des Auflösungsmittels sich von den Salztheilchen trennen, mithin die Anziehung, mit welcher diese wirken, überwinden, um in Dämpfe zu übergehen, weshalb der Siedpunkt desto höher wird, je grösser der Salzgehalt ist, aber die Temperatur des aufsteigenden Wasserdampfes ist, wie Rudberg fand, immer gleich der Temperatur des siedenden reinen Wassers.

d) Nach dem aufgestellten Gesetze von Dalton sollte das Sieden bei jener Temperatur stattfinden, welche dem Dampfe der Flüssigkeit eine dem äussern Gegendrucke gleiche Spannkraft ertheilt. Nach den neuern Versuchen von L. Dufour, der das Sieden des erhitzten Wassers während der Abkühlung durch Verminderung des äussern Druckes studirte, erscheint aber das Dalton'sche Gesetz des Siedens nicht genau, indem namentlich eine öfter und länger erhitzte Wassermasse unter Umständen einen Siedverzug erleidet, d. h. eine höhere Temperatur als nach dem Dalton'schen Gesetze annimmt, ohne zu sieden. Das Sieden, welches bei Vorhandensein eines Siedverzuges eintritt, geht ungestüm und explosionsartig vor sich unter rascher Absorption der Wärme, so dass die Flüssigkeit fast im Moment auf die gewöhnliche Dalton'sche Siedtemperatur abgekühlt erscheint.

Das Sieden einer Flüssigkeit kann nach Dufour bei verschiedenen Temperaturen erfolgen, deren niedrigste die nach dem Dalton'schen Gesetze bestimmte Temperatur ist. Die Ursache, dass das Wasser auch noch über diese Minimum-Temperatur flüssig bleibt, wird in dem ausgekochten Zustande desselben, in

dem Mangel an Luftbläschen im Innern des Wassers, welche die Entstehung von Dampfblasen begünstigen, und in der Ruhe, in welcher sich das Siedgefäss befindet, gesucht.

Hypsothermometer. Die Bestimmung des Siedpunktes vom reinen Wasser auf einem Berge zu dem Zwecke, um daraus den hier vorkommenden Luftdruck und aus diesem die Höhe des Berges berechnen zu können, geschieht mittelst eines sehr genauen und empfindlichen Thermometers, bei dem die einzelnen Grade eine Länge von 2 bis 3 Centimeter haben, weil eine Aenderung von 27 Millimeter im Barometerstande bei einer mittleren Steigung von 5·68 Meter erst eine Aenderung von 1° im Siedpunkte zur Folge hat. Die Theilung braucht erst bei 85° C. anzufangen; deshalb ist oberhalb der Kugel eine Erweiterung, die das erwärmte Quecksilber früher ausfüllen muss, bevor es in die enge Röhre tritt, wo jeder Grad wenigstens in 50 gleiche Theile getheilt ist, und daher $^1/_{50}$ eines Grades bestimmt werden kann, was einer Barometeränderung von 0·54 Millimeter und einer Aenderung von 5·68 Meter Lufthöhe entspricht. Ein solches Thermometer heisst Thermobarometer oder Hypsothermometer. Regnault hat aus zahlreichen Beobachtungen eine Tabelle abgeleitet, aus welcher der jedem Siedpunkte entsprechende Barometerstand entnommen werden kann.

Es gibt auch Flüssigkeiten, die durch grössere Erhitzung nur zersetzt, aber nicht in Dämpfe verwandelt werden können, wie z. B. die fetten Oele.

2. An der Oberfläche bei Flüssigkeiten bilden sich bei allen Temperaturen der Luft ohne Zuführung der Wärme von aussen Dämpfe, die sich in dem Raume über der Flüssigkeit ausbreiten. Dieser Vorgang heisst Verdunstung oder oberflächliche Dampfbildung.

In der freien Luft ist das Gewicht des in einer gewissen Zeit in Dampf umgewandelten Wassers desto grösser, je höher die Temperatur steigt, es ist ferner proportional der Ausdehnung der verdunstenden Oberfläche und dem Unterschiede aus dem der herrschenden Temperatur entsprechenden Maximum der Spannkraft und derjenigen, welche die vorhandenen Dünste wirklich besitzen. Bei geringerem Luftdrucke, der eine schnellere Ausbreitung der entstandenen Dünste gestattet, geht die Verdunstung rascher vor sich, und wird insbesondere befördert, wenn die bereits gebildeten Dünste durch Luftströmungen stets weggeführt werden. — Die Adhäsion des Wassers zu dem damit benetzten Körper verzögert die Verdunstung, also auch das Trockenwerden dieses Körpers.

Die zur Verdunstung nothwendige Wärmemenge wird der Flüssigkeit entzogen, weshalb sich diese und mit ihr die Umgebung

abkühlt; so entsteht die Verdunstungskälte, die bei schneller Verdunstung und Wegführung oder Absorption der entstandenen Dünste auch so bedeutend werden kann, dass verdünstendes Wasser gefriert; wie z. B. unter dem Recipienten einer Luftpumpe.

Anmerkung. Näheres über Dünste und Dämpfe findet sich im V. Abschnitte über Gase.

3. Der Leidenfrost'sche Versuch. Lässt man auf einen glühenden Platinlöffel aus einer Glasröhre mehrere Tropfen Wasser fallen, so breitet sich das Wasser nicht aus, sondern behält seine Tropfengestalt, und geräth bald in eine rotirende Bewegung; dabei verdunstet das Wasser nur langsam und seine Temperatur ist unter 100° C. Nimmt man den Platinlöffel vom Feuer weg, so hört die Glühhitze bald auf und nun sieht man den Tropfen über den Löffel sich ausbreiten und unter lebhaftem Aufkochen rasch in Dämpfe übergehen; dies erfolgt oft plötzlich unter einem lauten Knalle. Dieser von Leidenfrost herrührende Versuch kann auch mit manchen andern Flüssigkeiten und mit Metallen, wie Silber, Eisen in der Weissglühhitze angestellt werden. In einem aus Platindraht gebildeten glühenden Siebe nimmt Wasser, Alkohol, Aether die Tropfenform an, und fällt durch die Maschen des Siebes nicht durch, während die Dämpfe dieser Flüssigkeit durchgehen.

Der angeführte Versuch beweist, dass zwischen dem glühenden Metalle und der Flüssigkeit keine Berührung besteht; an der Oberfläche der Flüssigkeit, die auf einem Körper ruht, dessen Temperatur 150° bis 200° C. übersteigt, bildet sich eine Dampfhülle, welche den Contact dieser Flüssigkeit mit dem Metall verhindert, der Tropfen bildet ein schwebendes Sphäroid, er befindet sich im „shpäroidalen Zustände". Durch die Dampfhülle wird der Uebergang der Wärme sehr erschwert, so dass die Flüssigkeit vom Metall nur wenig Wärme erhält, und daher nur wenig Dampf gebildet werden kann.

Taucht man den kirschroth glühenden Stahl in's kalte Wasser, wie dies beim Härten geschieht, so sieht man ihn anfänglich einige Zeit fortglühen, indem er Dämpfe erzeugt, die ihn einhüllen; aber sobald die Berührung mit dem Wasser an einigen Punkten eingetreten ist, erkalten auch die nächsten Punkte, das Wasser beginnt an diesen Punkten lebhaft aufzukochen, und der Stahl wird plötzlich abgekühlt. — Ein durch einen electrischen Strom glühend gewordener Platindraht glüht auch unter Wasser fort, ohne jede Erhitzung zu erzeugen, die ein minder warmer bewirkt.

Schweflige Säure, die bekanntlich an der Luft schon bei einer Temperatur von 10 bis 12° C. unter Null verdampft, wobei ihre Temperatur bis auf — 20°, und wenn man mittelst eines Blasebalgs einen Luftstrom darauf leitet, sogar bis — 40° C. herabsinkt, nimmt in einem glühenden Platintiegel die Kugelform an, erscheint vom Platin getrennt und kann keine Wärme aufnehmen, weshalb sie nur langsam verdunstet; giesst man etwas Wasser darauf, so erstarrt dies zu Eis, indem die schweflige Säure rasch verdunstet. Faraday

brachte mittelst einer Mischung von Aether und condensirter Kohlensäure, welche in einem glühenden Platintiegel sich befanden, Quecksilber in wenigen Secunden zum Gefrieren. — Redtenbacher zeigte, dass bei diesem Versuche die Temperatur eines hineingehaltenen Weingeist-Thermometers auf — 80° C. sank, ohne dass der Weingeist gefror.

Boutigny hat in der neuesten Zeit die Thatsache constatirt, dass man den Finger, sogar die Hand in geschmolzenes Blei oder Bronze eintauchen kann, ohne verletzt zu werden; denn die Dampfschichte, die sich aus der Hautfeuchtigkeit bildet, verhindert die Berührung der Flüssigkeit und der Haut, so dass nur die strahlende Wärme auf den eingetauchten Körpertheil wirkt und zur Bildung neuer Dämpfe verwendet wird. Boutigny fand, dass man sich nicht auf die natürliche Feuchtigkeit verlassen dürfe, sodann dass der Versuch am besten gelinge, wenn man die Hand mit Seife gerieben und kurz vor dem Eintauchen in eine kalte mit schwefliger Säure gesättigte Lösung von Salmiak, oder auch nur in eine wässerige Salmiaklösung getaucht hat. Indessen wird die Flüssigkeit bald verdampft und die Hitze könnte wieder gefährlich werden, wenn man den Finger oder die Hand nicht schnell zurückzöge; das Eintauchen und Zurückziehen darf jedoch nicht zu rasch vor sich gehen, weil man durch Anstossen an die geschmolzene Metallmasse die Dampfhülle verdrängen, dadurch eine Berührung derselben mit dem Körpertheil bewirken und sich verbrennen könnte. Come empfiehlt die Vorsicht, vor dem Eintauchen die Oxydschichte an der Oberfläche der Bleimasse wegzunehmen, weil sich diese leicht an die Hand anlegen könnte; er befeuchtete die Hand vor dem Eintauchen mit schwefliger Säure, und hatte in flüssigem Blei und selbst in Eisen die Empfindung von Kälte. Dies ist nach Ligal auch der Fall, wenn man die Hand zuvor mit Aether benetzt hat; man kann die mit Aether befeuchtete Hand auch in siedendes Wasser gefahrlos eintauchen.

§. 13. Wärmemessung, specifische Wärme und Wärmecapacität. Aus der Grösse der Wirkung der Wärme hat sich die Vorstellung von der Wärmemenge gebildet; um eine und dieselbe Wirkung hervor zu bringen, wird immer dieselbe Wärmemenge erfordert. Als Einheit oder Maass zur Messung der Wärmemenge wird jene Wärmemenge angenommen, welche im Stande ist, 1 Kilogramm Wasser von 0° auf 1° C. zu erwärmen. Darnach wird die Wärmemenge, welche n Kilogramm auf 1° C. oder 1 Kilogramm auf n° C. zu erhöhen vermag, mit n bezeichnet.

Gleiche Gewichtsmengen verschiedener Körper brauchen, um von 0 auf 1° C. erwärmt zu werden, sehr ungleiche Wärmemengen, so braucht z. B. ein Kilogramm Wasser 33mal mehr Wärme dazu als 1 Kilogramm Quecksilber, und 8mal mehr als 1 Kilogramm Eisen etc.

Die Wärmemenge, welche eine Gewichtseinheit eines Körpers, z. B. 1 Kilogramm, braucht, damit seine Temperatur um 1° erhöht wird, nennt man **specifische Wärme** des Körpers, und die Eigenschaft eines Körpers diese Wärmemenge in sich aufzunehmen, **Wärmecapacität**.

Gewöhnlich setzt man die Wärmecapacität des reinen Wassers bei 0° gleich 1, dann ist die Wärmecapacität des Quecksilbers = 0·0333, des Bleies = 0·0314, des Goldes = 0·0324, des Silbers = 0·0570, des Kupfers = 0·0952, des Eisens = 0·1138 etc., die der Holzgattungen nahe = 0·5.

Die Wärmecapacität eines und desselben Körpers ist aber der Erfahrung zufolge Aenderungen unterworfen, daher kann von einer allgemeinen Bestimmung der specifischen Wärme nicht die Rede sein, sondern dieselbe kann nur **innerhalb gewisser Temperaturgrenzen** bestimmt werden. So ist die Wärmecapacität der festen und flüssigen Körper bei höherer Temperatur grösser, so dass ein Körper mehr Wärme braucht, um von 100° auf 101° erwärmt zu werden, als von 0° auf 1°; so z. B. hat Wasser bei 100° C. die Wärmecapacität = 1·013.

Ob sich die specifische Wärme zwischen den Temperaturgrenzen T und t geändert hat oder nicht, lehrt uns die sogenannte **Richmann'sche Regel**. Mischt man nämlich zwei Gewichtsmengen M und m desselben Körpers bei den Temperaturen T und t zusammen, so erhält die gesammte Gewichtsmenge $M + m$ eine Temperatur t'; ist S die unbekannte specifische Wärme dieses Körpers, so hat M die Wärmemenge MST und m die Wärmemenge mSt, und das Gemenge hat im Ganzen dieselbe Wärmemenge $(M + m)\,St'$, also ist $MST + mSt = (M + m)\,St'$; daraus ergibt sich unter der Voraussetzung, dass sich S zwischen T und t nicht ändert,

$$t' = \frac{MT + mt}{M + m},$$

d. i. die Temperatur der Mischung. — Wenn jedoch die Erfahrung zeigt, dass die Mischung eine andere Temperatur hat als die nach dieser Formel berechnete, so ist das ein Beweis, dass die Voraussetzung falsch ist und dass sich S zwischen T und t ändert.

§. 14. **Bestimmung der specifischen Wärme. a) Mischungsmethode.** Zur Bestimmung der **specifischen** Wärme eines festen oder tropfbaren Körpers bedient man sich am bequemsten der sogenannten **Mischungsmethode**, die darin besteht, dass man einen auf die Temperatur T erwärmten Körper von der Gewichtsmenge M und der unbekannten specifischen Wärme S

ohne Wärmeverlust in's Wasser oder in eine andere Flüssigkeit, die nicht chemisch auf ihn einwirkt, bringt. Dieser Körper theilt dem kältern Wasser von der Temperatur t, der specifischen Wärme s und der Gewichtsmenge m so lange Wärme mit, bis beide die nämliche Temperatur t_1 erhalten haben, die man mittelst eines guten Thermometers beobachtet. — Nun ist $MS\ (T-t_1)$ die Wärmemenge, welche der Körper verloren und dem Wasser mitgetheilt hat, und $ms\ (t_1 - t)$ die Wärmemenge, die das Wasser gewonnen hat; setzt man voraus, dass an die Umgebung kein Wärmeverlust stattfand, so ist $MS\ (T - t_1) = ms\ (t_1 - t)$, mithin $S = \frac{m(t_1 - t)}{M(T - t_1)} \cdot s \ldots (1)$. Hat man Wasser als Mischungsflüssigkeit gebraucht, so ist $s = 1$ zu setzen, bei einer andern Flüssigkeit hingegen setzt man für s deren specifische Wärme. — Diese Bestimmungsweise setzt voraus, dass sich die specifische Wärme des Körpers zwischen den Temperaturen T und t_1 nicht ändert, wovon man sich nach der Richmann'schen Regel leicht überzeugt.

Bezieht man die Vergleichung der Wärmemengen auf die Volumseinheit, so nennt man die Wärmemenge S_1, welche die Temperatur einer Volumseinheit um 1° C. zu erhöhen vermag, relative Wärme; und es ist $S_1 = \frac{S}{v}$, wo v das Volumen einer Gewichtseinheit des Körpers vom specifischen Gewichte σ bedeutet, also $v\sigma = 1$, folglich $S_1 = S\sigma$, d. h. die relative Wärme ist gleich dem Producte der specifischen Wärme eines Körpers mit seinem sepecifischen Gewichte.

b) Um die specifische Wärme eines Gases zu finden, wird dasselbe in einem von siedend heissem Wasser umgebenen Metallgefässe auf 100° C. erwärmt und dann langsam in einem gewundenen Rohr durch einen Kühlapparat geleitet. Dadurch wird seine Temperatur vermindert, aber die des Kühlwassers erhöht. Bezeichnet M die Gewichtsmenge des Gases, welche eine Gewichtsmenge Wassers m von t^0 auf $t_1^{\,0}$ steigert, während seine Temperatur von 100° C. auf T Grade herabsinkt, S und s die specifische Wärme des Gases und des Wassers, so ist, vorausgesetzt dass an die Umgebung kein Wärmeverlust stattfindet,

$$MS(100^0 - T) = ms\,(t_1 - t), \text{ folglich } \frac{S}{s} = \frac{m\,(t_1 - t)}{M\,(100^0 - T)} \ldots (2)$$

die specifische Wärme des Gases bezüglich des Wassers. Nimmt man reine atmosphärische Luft, so ist für diese und dasselbe Wasser $M_1 S_1 (100^0 - T_1) = ms(t' - t)$, folglich $\frac{S_1}{s} = \frac{m(t'-t)}{M(100^0 - T_1)} \ldots (3)$.

Dividirt man *(2)* durch *(3)*, so erhält man $\frac{S}{S_1}$ die specifische Wärme eines Gases bezüglich der atmosphärischen Luft.

Die Untersuchungen lehren, dass die specifische Wärme S eines permanenten Gases bei constantem Drucke und veränderlichem Volumen grösser ist, als die specifische Wärme s bei constantem Volumen und unveränderlichem Drucke, und zwar ist

$$\frac{S}{s} = 1{\cdot}41.$$

Die Untersuchungen über die specifische Wärme ergaben folgende Gesetze:

1. Die Wärmecapacität hängt ab von der materiellen Beschaffenheit der Körper; 2. von der Temperatur des Körpers, indem die Wärmecapacität mit der Erhöhung der Temperatur wächst; 3. ändert sich die Wärmecapacität mit der Aenderung der Aggregationsform und wird im Allgemeinen beim Uebergange aus dem festen in den tropfbaren und ausdehnsamen Zustand immer grösser; aber während der Wasserdampf $S = 0{\cdot}48$ hat, ist für tropfbares Wasser $S = 1$ und für Eis $S = 0.5$; 4. ändert sie sich durch chemische Verbindungen und Lösungen der Körper, so wird die Wärmecapacität beim Löschen des Kalkes mit Wasser vermindert, wodurch Wärme frei wird und die Hitze steigt, — bei einer Mischung von 3 Theilen Salmiak mit 5 Theilen Salpeter und 16 Theilen Wasser wird sie hingegen so erhöht, dass die Temperatur der Lösung von + 10 auf — 10 Grad sinkt. Darauf beruhen die Kältemischungen, wie zum Beispiel Kochsalz mit Schnee oder Eis die Temperatur von 0^0 auf — 14^0 bringt.

Man hat einen merkwürdigen Zusammenhang zwischen der specifischen Wärme und den Atomgewichten der Körper entdeckt: die für die Atomgewichte nothwendigen Wärmemengen, um diese auf 1^0 C. zu erhöhen, sind entweder einander gleich oder Vielfache nach ganzen Zahlen von der kleinsten dieser Wärmemengen. Diese Wärmemenge oder das Product des Atomgewichtes

in die specifische Wärme ist für die meisten Stoffe 3·2. Das Gesetz gilt auch für chemisch zusammengesetzte feste Körper.

§. 15. Bestimmung der Flüssigkeitswärme der Körper. Hat man die Temperatur eines Körpers bis zu seinem Schmelzpunkte erhöht, so wird jede ihm weiter zugeführte Wärme zum Schmelzen verwendet, und seine Temperatur bleibt constant. Diese am Thermometer nicht erkennbare, znm Uebergang in den flüssigen Zustand nothwendige Wärme nennt man gebundene, latente oder auch Flüssigkeitswärme.

Um die Flüssigkeitswärme zu bestimmen, erhöht man die Temperatur des Körpers von einer Gewichtsmenge m bis zum Schmelzpunkte t und bringt ihn in eine Flüssigkeit von der Gewichtsmenge M und von einer noch höhern Temperatur T, so dass der Körper darin schmilzt und beobachtet die Temperatur t' nach der Schmelzung, so ist, wenn x die von einer Gewichtseinheit des Körpers gebundene Wärme, s seine specifische Wärme und S die der Flüssigkeit bedeutet,

$$MS(T - t') = mx + ms(t' - t),$$

weil der Verlust, den die Flüssigkeit an Wärme erleidet, zum Schmelzen der Gewichtsmenge m und zur Erhöhung ihrer Temperatur um t' verwendet wurde, vorausgesetzt, dass an die Umgebung keine Wärme verloren ging. Aus dieser Gleichung ergibt sich die Flüssigkeitswärme x für eine Gewichtseinheit des Körpers.

Kehrt ein Körper aus dem flüssigen wieder in den festen Zustand zurück, so muss er nicht nur bis zum Schmelz- oder Gefrierpunkte abgekühlt werden, sondern er muss der Umgebung auch noch seine ganze Flüssigkeitswärme abgeben, bevor er fest wird. Man sagt, beim Erstarren wird die beim Schmelzen gebundene Wärme wieder frei. Dadurch steigt oft die Temperatur der Umgebung, wie z. B. im Winter beim Beginne des Schneiens.

Die Erfahrung lehrt, dass die Flüssigkeitswärme bei verschiedenen Körpern sehr verschieden ist, denn während z. B. ein Pfund Eis 79 Wärmeeinheiten braucht, um zu schmelzen, reichen bei Zinn schon 14·30, bei Zink 27·46, bei Blei 5·15 etc. Wärmeeinheiten aus.

Je grösser die Flüssigkeitswärme ist, desto langsamer geht das Schmelzen vor sich. — Man hat Legierungen, z. B. das Rose'sche Metall, aus Wismuth, Blei und Zinn, die schon zwischen 70° und 304° R. schmelzen und als Schnellloth verwendet werden.

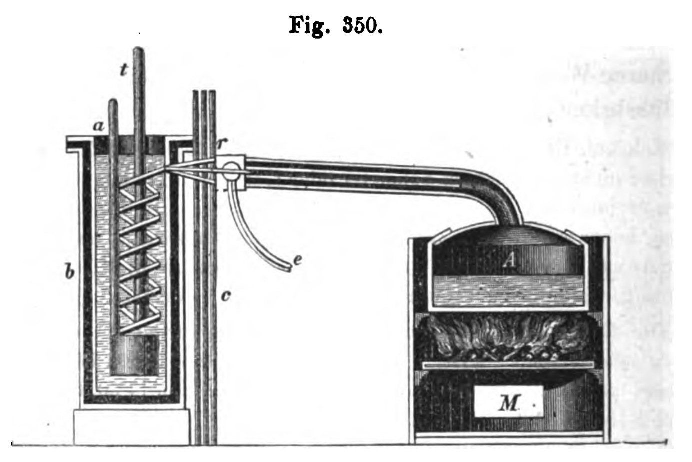
Das Erstarren der Flüssigkeiten beginnt meist an der Oberfläche, wo die Abkühlung am raschesten vor sich geht. Die meisten Körper ziehen sich beim

Festwerden zusammen; das Wasser dehnt sich hingegen mit aller Gewalt aus, wenn es zu Eis wird, und nimmt dabei von den Substanzen, die darin gelöst waren, nichts auf; daher kann man mittelst des Gefrierens Wasser vom Alkohol und vom Kochsalz sondern. — Diese Eigenschaft der Volumzunahme des Wassers vor dem Abkühlen bringt mit sich, dass ruhiges Wasser an der Oberfläche gefriert etc.

§. 16. **Bestimmung der Verdampfungswärme.** Ist die Temperatur einer Flüssigkeit bis zum Siedpunkte gestiegen, so wird alle während des Siedens ihr zugeführte Wärme zur Umwandlung der Flüssigkeit in den ausdehnsamen Zustand verbraucht, und die Temperatur derselben wird nicht mehr erhöht. Man sagt, beim Verdunsten oder Verdampfen einer Flüssigkeit wird auch Wärme gebunden oder latent, und nennt diese gebundene Wärme Verdunstungswärme.

Diese gebundene Wärme wird beim Tropfbarwerden der Dünste wieder frei und kann bestimmt werden. Die Flüssigkeit wird in einem Gefässe *A* (Fig. 350) bis zum Sieden erhitzt, die entstandenen Dämpfe auf die Temperatur des Siedpunktes *t* gebracht, und durch ein schlangenförmig gewundenes Rohr, das sich in einem Kühlapparate befindet, geleitet, und daselbst con-

Fig. 350.



densirt sammeln sie sich als Flüssigkeit in einem kleinen Behälter, welches durch ein Rohr *a* mit der äussern Luft communicirt, damit das Sieden unter dem äussern Luftdrucke vor sich gehe. Das Kühlgefäss ist durch einen Schirm aus mehreren hinter einander stehenden polirten Metallplatten *c* vor der Einwirkung der Wärme

von A geschützt. In r ist ein Hahn, der so lange die Dämpfe durch eine Röhre e entweichen lässt, bis sie die Temperatur t_1 erreicht haben, dann lässt er sie aber, wenn er um 90° gedreht wird, in das Kühlgefäss eintreten. — Bezeichnet man mit x die Wärmemenge, die von einer Gewichtseinheit der condensirten Dämpfe frei wird, und ist m das Gewicht derselben, t die anfängliche Temperatur des Wassers vom Gewichte M im Kühlgefässe, T diejenige, zu der es durch die tropfbar gewordenen Dämpfe gebracht wird, s die specifische Wärme der verdampfenden Flüssigkeit, die des Wassers aber $= 1$; so ist $M.(T - t)$ als die von der Wassermasse gewonnene Wärmemenge gleich der ihr von den Dämpfen beim Tropfbarwerden mitgetheilten Wärme, d. i.

$$M(T - t) = m \cdot x + ms(t_1 - T).$$

Daraus ergibt sich die Verdampfungswärme x, aber genau nur dann, wenn man auch die den Bestandtheilen des Kühlapparates mitgetheilte Wärme in Rechnung bringt. Hat man Wasserdämpfe, so ist $s = 1$ und $t_1 = 100^0$ C.

a) Wärmegehalt des Dampfes. Regnault fand die Verdampfungswärme bei Wasser gleich 536·5; d. h. die Wärme, die 1 Kilogramm Wasser von 100° C. braucht, um in Dampf von 100° C. umgewandelt zu werden, kann 536·5 Kilogramm Wasser von 0° auf 1° erwärmen.

Nach Regnault ist die Gesammtwärme Q, welche 1 Kilogramm Wasser zugeführt werden muss, um es von 0° C. auf t° zu erwärmen und bei dieser Temperatur und dem entsprechenden Drucke in Dampf zu verwandeln,

$$Q = 606{\cdot}5 + 0{\cdot}305\, t.$$

Nach Clausius kann man die dem 1 Kilogramm Wasser bei der Erwärmung von 0^0 bis t^0 zugeführte Wärme q, im Fall $t > 100^0$ ist, setzen:

$$q = 1{\cdot}013\, t.$$

Bezeichnet man nun mit w die Verdampfungswärme von 1 Kilogramm Wasser bei t^0 C. und bei dem dieser Temperatur entsprechenden Dampfdrucke, so hat man

$$Q = q + w,$$

daher beträgt die Verdampfungswärme:

$$w = Q - q = 606{\cdot}5 - 0{\cdot}708\, t.$$

Bezeichnen wir mit t die Temperaturen, mit p den dazu gehörigen Dampfdruck, so hat man

$t^0 = 100^0$,	121^0,	134^0,	144^0,	152^0,	159^0.
$p = 760^{mm} = 1$ Atm.,	2,	3,	4,	5,	6.

Die Zahlen der letzten Reihe geben die Dampfspannung in Atmosphärendruck an.

Pambour hielt die Verdampfungswärme für constant; Regnault's Untersuchungen belehrten uns, dass diese Ansicht unrichtig war.

b) Dampfheizung. Die grosse Wärmemenge, die beim Tropfbarwerden des Wasserdampfes frei wird, veranlasste die Anwendung desselben zur Beheizung von Localitäten in Fabriken, zum Abdampfen und Kochen, zum Trocknen von gefärbten Stoffen. Der Dampf wird in einem länglichen, aber nicht tiefen geschlossenen Kessel erzeugt, und dann durch metallene Röhren dahin geleitet, wo die Erwärmung geschehen soll; indem der Dampf durch Abkühlung tropfbar wird, tritt die Verdampfungswärme in Freiheit und erwärmt die nächste Umgebung. — Führt man die metallenen Dampfleitungsröhren durch Zimmer, so werden diese Röhren, sobald der Dampf condensirt wird, erwärmt, und nun wärmen sie die Luft im Zimmer wie ein geheizter Ofen; ihre gesammte Oberfläche muss der Grösse des Locals, das geheizt werden soll, angemessen sein; auch sollen sie so nahe als möglich am Fussboden angebracht sein, um die untersten und kältesten Schichten zu erwärmen. Man gibt den Röhren eine geneigte Lage, damit das tropfbare Wasser in den Kessel zurückfliessen könne. Da man mit einem Kessel viele Räume zugleich beheizen kann, so hat man den Vortheil, nur ein Feuer unterhalten zu müssen, und man kann den Feuerherd vortheilhafter einrichten als einen Ofen, so dass das Feuer um den eingemauerten Ofen circulirt, wodurch man eine Ersparniss an Brennmaterial erzielt. Man kann bei dieser Heizmethode leicht die Einrichtung treffen, dass nur die Dampfmenge in die Röhrenleitung tritt, die erforderlich ist, um eine gewisse Temperatur hervorzubringen und sie stets auf gleicher Höhe zu halten, was in den Trockenstuben gewisser Fabriken nothwendig ist.

Bei der Verfertigung des Maschinenpapiers wird dasselbe zuletzt zwischen hohle mit Dampf geheizte Walzen geführt, die es glätten und trocknen. — Der Dampfheizung bedient man sich auch beim Abdampfen vieler Flüssigkeiten, z. B. des geklärten Saftes von Runkelrüben, indem man den Dampf durch eine Reihe von Röhren, die am Boden des mit Saft gefüllten Gefässes sich befinden, leitet; in dem Augenblicke, wo der Saft gehörig eingekocht worden ist, sperrt man den Dämpfen den Zutritt, und macht jeden höhern Erwärmungsgrad, der schädlich wäre, unmöglich. — Verwendet man den Dampf zum Kochen, z. B. der Kartoffeln zum Behufe der Branntwein-Erzeugung, so bekommt das Kochgeschirr einen doppelten Boden; der höhere, über dem die Kartoffeln liegen, ist mit Löchern versehen, durch die der Dampf, der unter diesem Boden eintritt, emporsteigt und bei seinem Uebergange in tropfbaren Zustand die Gegenstände im Gefässe erhitzt. Das entstandene Wasser fliesst hinab und wird durch ein mit einem Hahne versehenes Rohr abgelassen.

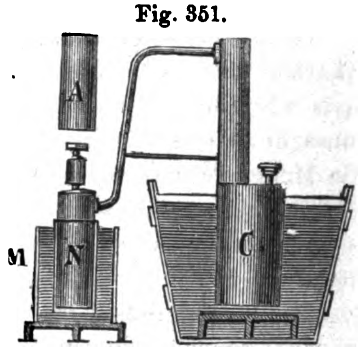
c) Das durch Druck tropfbar flüssig gemachte Ammoniak wird von Carré zur künstlichen Darstellung des Eises verwendet.

Diese Eisbereitung stützt sich auf die grosse latente Wärme beim Verflüchtigen des flüssigen Ammoniaks. Verdampft nämlich eine Flüssigkeit rasch

ohne Zufuhr von äusserer Wärme, so kühlt sie sich selbst stark ab, indem die zur Dampfbildung nöthige Wärme aus einem Theile der Flüssigkeit entzogen wird, wobei sich auch die nächste Umgebung der Flüssigkeit stark abkühlt. Diese Abkühlung ist um so bedeutender, je niedriger der Siedepunkt der Flüssigkeit (hier 38·5°) und je rascher sich derselbe in Dampf verwandelt.

Die Carré'sche Eismaschine (Fig. 351) besteht aus zwei starken eisernen Gefässen, welche mit einer gebogenen Röhre verbunden sind. Der Cylinder *C* enthält eine bei 0° gesättigte, wässerige NH_3 — Lösung; diese wird allmälig erwärmt und das Gefäss *M* durch kaltes Wasser gut abgekühlt. Das NH_3 wird durch Erwärmung aus der Lösung getrieben und verdichtet sich in dem doppelwändigen Gefässe *M*, sobald der Druck im Innern auf 7 Atmosphären gestiegen ist. Sobald das meiste NH_3 aus *C* ausgetrieben ist, umgibt man den Cylinder *C* mit kaltem Wasser, gibt die zu frierende Flüssigkeit in den hohlen Cylinder *A* und steckt diesen in den entsprechenden Hohlraum *N* des Gefässes *M*. Während der Gasdruck in *C* durch Abkühlung rasch abnimmt, veflüchtigt sich das NH_3 in *M* wieder sehr rasch, indem es in *C* jetzt absorbirt wird, und erzeugt dadurch eine so niedere Temperatur, dass in *B* die Eisbildung stattfindet.

Fig. 351.



§. 17. **Verbrennungsprocess.** Die Verbindung der Stoffe mit dem Sauerstoff unter Licht- und Wärmeentwickelung nennt man gewöhnlich das Brennen. Die Chemie dehnt den Begriff des Verbrennens auf jede Verbindung des Sauerstoffes mit einem andern Stoffe aus, gleichviel ob diese mit oder ohne Flamme vor sich geht. Den Sauerstoff, der das Verbrennen unterhält, nennt man auch Zündstoff, den verbrennenden Stoff aber Brennstoff.

a) Soll ein Körper brennen, so reicht es noch nicht hin, ihn mit dem Sauerstoffe in unmittelbare Berührung zu versetzen, sondern er muss erst eine gewisse Temperatur erhalten, bei der er sich entzünden kann; man nennt sie Entzündungstemperatur. — Beispiele dazu geben die Verbrennungsversuche im Sauerstoff. — Mit Flamme brennen jene Stoffe, welche während des Verbrennens brennbare Gase entwickeln; und die Flamme ist nichts Anderes als ein glühendes Gas. Feuerbeständige

Körper geben daher keine Flamme. Man bedient sich zur Beleuchtung solcher Stoffe, die reich an Kohlenstoff und Wasserstoff sind, wie z. B. Holz, Unschlitt, Wachs, Oel, Leuchtgas etc.; die Entzündungstemperatur bewirkt zunächst eine Zerlegung des Brennstoffes in seine Hauptbestandtheile *C* und *H*, von denen zuerst *H* und dann auch *C* verbrennt. Während *H* mit einer blassen Flamme brennt, geben die ihr beigemengten glühenden Kohlentheilchen die gehörige Leuchtkraft.

Zur Fortdauer des Brennens muss dem Brennstoffe fortwährend die nöthige Menge Sauerstoff zugeführt und die Wärme stets über die Entzündungstemperatur erhalten werden. Daher muss die atmosphärische Luft dem Brennstoffe zuströmen, aber die Menge der zuströmenden Luft darf nicht eine gewisse Grenze überschreiten, weil sont der Brennstoff unter die Entzündungstemperatur abgekühlt und das Fortbrennen unterbrochen werden könnte.

Soll daher das Brennmaterial gut benützt und verbrannt werden, so muss durch Blasbälge oder Schornsteine ein hinreichend starker Luftzug unterhalten werden. So wird z. B. bei einer Argand'schen Lampe ein hohler Docht gebraucht, damit der Flamme nicht nur von aussen, sondern auch von innen Luft zuströmen könne. Der Luftstrom wird auch bei der Lampe durch einen angesetzten, gut gewählten Glascylinder verstärkt. Dadurch wird eine vollständige Verbrennung, eine bedeutende Hitze und Leuchtkraft der Flamme erzeugt, und das Rauchen unterbleibt.

Ist Sauerstoff z. B. bei zu schwachem Luftzuge nicht in hinreichender Menge vorhanden, so ist die Verbrennung nur unvollkommen, wie bei Oellampen ohne Kamin, und eine Menge unverbrannter Kohle wird in feinvertheiltem Zustande mit dem Luftstrome fortgerissen. — Die Kohle kühlt sich zum Theile ab und setzt sich dann als Russ an feste kältere Körper ab, oder entweicht mit den übrigen Verbrennungsprodukten, als der Kohlensäure, dem Wasserdampfe etc., durch den Schornstein als Rauch.

b) Soll der Verbrennungsprocess unterdrückt und das Feuer gelöscht werden, so hat man nur die Bedingungen des Fortbrennens zu beseitigen; dieses geschieht durch das Abhalten des Luftzutrittes zum Brennstoffe oder durch eine Abküh-

lung desselben unter die Entzündungstemperatur. Verschliesst man den Verbrennungsprodukten den Abzug, so kann keine frische Luft zutreten und das Brennen hört auf. Ein schlechter Zug im Schornsteine veranlasst ein unvollkommenes Verbrennen, und bei gänzlicher Unterdrückung desselben geht das Feuer aus. — Auf der Abkühlung des Brennstoffes unter die Entzündungstemperatur beruht das Ausblasen einer Flamme, das Löschen des Feuers mit Wasser etc. Das Wasser entzieht, wenn es in hinreichender Menge auf den brennenden Körper geworfen wird, demselben vermöge seiner grossen Wärmecapacität sehr viel Wärme und kühlt ihn unter die Entzündungstemperatur ab; aber in zu geringer Menge erleidet es in der Hitze des brennenden Körpers eine Zersetzung in seine chemischen Bestandtheile H und O, deren einer selbst Zündstoff, der andere Brennstoff ist, und befördert das Brennen. — Zum Löschen brennender Fette ist das Wasser nicht geeignet, weil es als schwererer Körper in ihnen untersinkt und diese Körper oben auf schwimmend fortbrennen; es kann auch durch die grosse Hitze, mit welcher die Fette verbrennen, in Dämpfe von solcher Spannkraft verwandelt werden, dass sie die brennenden Massen mit Gewalt umherschleudern. Fette und Weingeist, überhaupt specifisch leichtere Stoffe als Wasser werden gelöscht, wenn man sie möglichst dicht mit einem Körper zudeckt.

Fig. 352.

Hält man in ein brennendes Gas einen guten Wärmeleiter, z. B. ein Drahtnetz, so entzieht ihm dieser die zum Fortbrennen nothwendige Wärme, und die Flamme löscht aus. Darauf beruht Davy's Sicherheitslampe.

§. 18. **Bestimmung der beim Verbrennen der Körper entwickelten Wärmemenge.** Man bedient sich zu dieser Bestimmung des Calorimeters von Rumford (Fig. 352).

Dieser Apparat besteht aus einem parallelopipedischen Kasten *MN* von dünnem Kupferblech; am Boden des Kastens befindet sich eine schlangenförmig gewundene Röhre, ein Ende derselben steht mit einem nach unten mündenden Trichter *a* in Verbindung, das andere tritt frei durch die Seitenwand bei *b* hervor. Das ganze Gefäss ist mit einer abgewogenen Menge Wasser gefüllt und mit einem Thermometer *t* zur Beobachtung der Temperatur des Wassers versehen.

Man verbrennt eine bestimmte Gewichtsmenge eines Körpers unter dem Trichter, so dass sämmtliche Verbrennungsprodukte in die schlangenförmige Röhre eintreten, und dort die Temperatur des sie umgebenden Wassers auf einen bestimmten Grad erhöhen. Aus der bekannten Temperaturerhöhung des Wassers und dem Gewichte desselben kann die beim Verbrennen entwickelte Wärmemenge berechnet werden. Dabei wird, wie immer, vorausgesetzt, dass an die Umgebung keine Wärme verloren ging. Da dieses in keinem Falle ganz verhindert werden kann, so sucht man den Fehler dadurch zu vermindern, dass man vor dem Versuche das Wasser um ebenso viel Grade kälter sein lässt als die Umgebung, um wie viel es nach vollendeter Verbrennung wärmer erscheint. Ausserdem muss noch auf die beim Verbrennen stattfindende Ausstrahlung Rücksicht genommen und dafür gesorgt werden, dass die aus dem Rohre *b* austretenden Gase möglichst bis zur Temperatur der Luft abgekühlt erscheinen.

Durch solche Versuche fand man, dass die beim Verbrennen von 1 Kilogramm Substanz in Sauerstoff entwickelte Wärmemenge durch die beigesetzten Zahlen ausgedrückt werden kann:

Vollkommen trockenes Holz	3600	Wasserstoffgas	34600
Lufttrockenes Holz	2900	Leuchtgas	12200
Reine Kohle	7800	Baumöl	11200
Steinkohlen, beste	7000	Rüböl	9300
„ geringere	6000	Talg	8000
Coaks	6600	Wachs	9000
Torf	2500—3000	Alkohol	6000
		Aether	8000

Die Versuche lehren, dass jede Gewichtseinheit d i e s e l b e W ä r m e m e n g e liefert, mag das Verbrennen rasch oder langsam vor sich gehen; allein die dabei erzeugte Temperatur ist desto

höher, je mehr Brennstoff während einer und derselben Zeit verbrennt.

Die grösste Hitze, die man durch Verbrennung hervorbringen kann, liefert brennendes verdichtetes Knallgas. Hier wird nämlich beim Verbrennen des Wasserstoffgases sehr viel Wärme entwickelt, weil gerade so viel Sauerstoff vorhanden ist, als zur chemischen Verbindung erfordert wird, und die entwickelte Wärme nicht erst theilweise zur Zersetzung des Brennstoffes verwendet wird. — Um das Verbrennen des Knallgases ohne Gefahr zu bewerkstelligen, bedient man sich des sogenannten Daniell'schen Hahnes. In der Knallgasflamme schmilzt selbst Platin.

Aufgabe. 1. Wie gross ist die Wassermasse, welche durch Verbrennung von 1 Kilogramm Knallgass von 0°—100° C. erhitzt werden könnte? 2. Wie gross ist dann die dabei erzeugte Wärme gemessen als Arbeit, wenn der Wärme 1 einer Arbeit = 424 Kilogramm-Meter entspricht?

Bei einem gewöhnlichen Verbrennungsprocesse geht ein grosser Theil Wärme verloren, z. B. durch Verdampfen des Wassers eines nicht trockenen oder reinen Brennstoffes, durch Entweichen mit den abziehenden gasförmigen Verbrennungsprodukten etc. Die Ofenheizung macht keine 50 Procent von der erzeugten Wärme nutzbringend.

§. 19. **Quellen der Wärme und das mechanische Aequivalent der Wärme.** Wir haben bereits den Verbrennungsprocess, chemische Processe und Electricität als Wärmequellen kennen gelernt; es treten aber auch Stoss und Reibung, Einwirkung der Sonnenstrahlen, die Erde und der Lebensprocess als Wärmequellen auf.

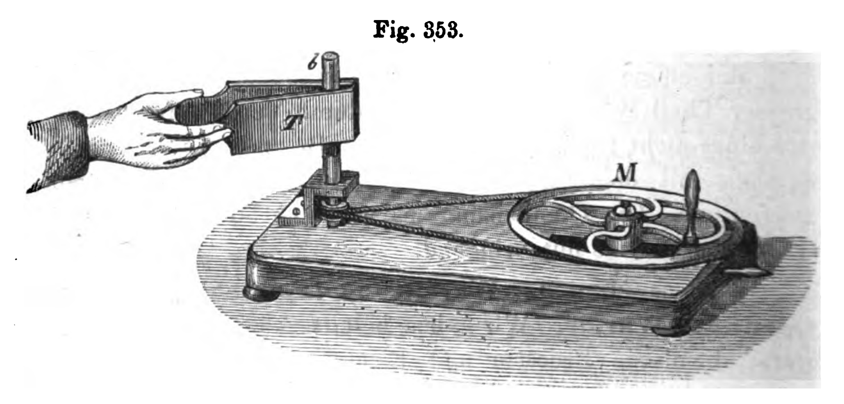
1. Durch Reibung werden bekanntlich die geriebenen Körper stark erhitzt, wie wir dies an Bohrern, Feilen, Sägen, an den Axen der Wagenräder etc. sehen. So verschaffen sich die Wilden Feuer, indem sie zwei Stücke trockenes Holz rasch und kräftig an einander reiben; und selbst in Fabriken hat man schon die überschüssige Triebkraft der Dampfmaschine zur Wärmeerzeugung zu benützen angefangen, indem man sie zwei sich reibende Metallplatten bewegen liess; mit der dadurch erzeugten Wärme kann man Zimmer beheizen.

A. Wärmeerzeugung durch Reibung. Die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen über die Entwickelung der

Wärme durch Reibung machte Rumford in der Kanonenbohrerei zu München. Rumford versetzte einen stumpfen Bohrer, der am Boden einer vertical aufgestellten und mit Wasser gefüllten Kanone unter einem starken Drucke stand, durch Pferdekraft in eine drehende Bewegung, bei welcher 32 Umdrehungen in der Minute erfolgten. Die Temperatur von 26 Pfund Wasser war nach einer Stunde auf 41° C., nach $1^1/_2$ Stunden auf 61° gestiegen und nach $2^1/_2$ Stunden begann das Wasser zum Erstaunen der Anwesenden wirklich zu kochen. Dabei hatten sich etwa 17 Loth Bohrspänchen abgerieben.

Man kann dieselbe Erscheinung auf eine einfachere Weise zeigen. An die Rotationsaxe der Centrifugalmaschine *M* (Fig. 353) ist angesetzt eine messingene unten geschlossene Röhre, welche bei

Fig. 353.



4 Zoll Länge und $^3/_4$ Zoll Weite hat. Nimmt man zwei durch ein Charnier verbundene Stücke von Eichenholz *T*, in welchen kreisförmige, zur Aufnahme der Röhre bestimmte Einschnitte angebracht sind, und fasst damit die Röhre wie mit einer Zange fest, während die Röhre gedreht wird, so entsteht Reibung, die zur Ueberwindung der Reibung zwischen Holz und Messing verbrauchte Arbeit setzt sich in Bewegung der Moleküle um und erscheint in Form von Wärme wieder.

Füllt man die Röhre theilweise mit Wasser, und setzt die Maschine in Bewegung, so sieht man bald Dämpfe aus der Röhre aufsteigen. Verschliesst man die Oeffnung leicht mit einem Kork, so schleudert ihn der Dampf schon nach einigen Minuten heraus.

Reibung und unelastischer Stoss sind Vorgänge, bei welchen sichtbare mechanische Arbeit verschwindet und dabei in Wärme umgesetzt wird. — Der in der Mechanik angeführte Verlust an Arbeitsgrösse beim Zusammenstossen unelastischer Körper ist kein wirklicher Verlust, denn Hirn hat durch Versuche nachgewiesen, dass sich der Verlust an sichtbarer Arbeit vollständig in unsichtbare Bewegung der Wärme umsetzt.

Rumford wurde durch seine Versuche zum Schlusse geführt, dass die Wärme keine Substanz sei, weil es nicht möglich ist durch Arbeit eine Substanz zu schaffen. Man kann durch Reibung eines Körpers mittelst eines andern eine beliebige Wärmemenge entwickeln, und doch kann unmöglich in diesen Körpern eine unendliche Menge einer Substanz enthalten sein. Zur Erklärung der durch Reibung erzeugten Wärme reicht die Annahme des Wärmestoffes nicht aus, daher kann die Ursache der Wärmeerzeugung nur in der bei der Reibung verrichteten Arbeit liegen.

Aber erst der Engländer Joule hat durch seine sinnreichen Versuche (1842—1849) nachgewiesen, in welchem Verhältnisse die Arbeitsgrösse zur erzeugten Wärme steht. Die Versuche zeigten, dass man zur Erzeugung einer Wärmeeinheit jene Leistung nöthig hat, durch welche 423.55 Kilogramm einen Meter hoch gehoben werden, d. h. die Arbeitsgrösse, welche einer Wärmeeinheit entspricht, ist gleich 423·55 Kilogramm-Meter. Man nennt diese Arbeitsgrösse das mechanische Aequivalent der Wärmeeinheit.

Darauf beruht die heutige mechanische Theorie der Wärme, die besonders von Holtzmann, Helmholtz, Thomson, Rankine, Clausius und Andern bearbeitet wurde.

B. Das mechanische Aequivalent der Wärmeeinheit. Um das Wärme-Aequivalent auf eine einfache Weise zu berechnen, denken wir uns den Raum eines Kubikmeters mit trockener atmosphärischer Luft gefüllt und bei constantem Drucke um 1° C. erwärmt. Das Gewicht von einem Kubikmeter Luft sei gleich P, C die specifische Wärme der Luft bei veränderlichem Volum und constantem Druck. Demnach muss man der eingeschlossenen Luft die Wärmemenge $P . C . 1^0$ mittheilen, um ihre Temperatur auf 1° zu erhöhen. — Bei dieser

erhöhten Temperatur nimmt aber die Luft einen Raum von $1 + \alpha$ Kubikmeter ein, wenn α den Ausdehnungs-Coëfficienten der Luft bedeutet. War bei dieser Volumzunahme eine Seitenwand von einem Quadratmeter gegen den äussern Luftwiderstand Q durch den Raum α hindurch bewegt, so musste die zugeführte Wärme nebst der Temperaturerhöhung auch die Arbeit $A = Q \,.\, \alpha$ verrichten.

Wird aber die Luft bei constantem Volum um 1° C. erwärmt, so wird keine äussere Arbeit verrichtet und die dazu nöthige Wärmemenge $P \,.\, c \,.\, 1^0$ ist kleiner als im ersten Falle, denn die specifische Wärme c bei constantem Volum ist kleiner als die C bei veränderlichem Volum. — Es ist also die Wirkung des Mehrverbrauchs an Wärme $P(C - c)$ in der geleisteten Arbeit $Q \,.\, \alpha$ zu suchen. Der Quotient

$$W = \frac{Q \,.\, \alpha}{P(C - c}$$

gibt demnach die auf die Wärmeeinheit entfallende Arbeitergrösse, d. i. das mechanische Aequivalent der Wärmeeinheit an.

Nun ist aber beim Normal-Barometerstande $= 760^{mm}$ und bei 0° C. der Luftdruck $Q = 10334$ Kilogramm, $\alpha = 0{\cdot}00366$. Das Gewicht von einem Kubikmeter Luft im Normalzustande 0° C. und $b = 760^{mm}$ ist aber $P = 1{\cdot}293$ Kilogramm, $C = 0{\cdot}2377$ und $c = 0{\cdot}1686$. Durch die Substitution dieser Grössen ergibt sich

$$W = \frac{10334 \times 0{\cdot}00366}{(0{\cdot}2377 - 0{\cdot}1686)\ 1{\cdot}293} \text{ nahe } = 424 \text{ Kilogramm-Meter,}$$

d. h. die Wärmeeinheit, welche 1 Kilogramm Wasser auf 1° C. zu erwärmen vermag, kann, wenn sie vollständig in Arbeit verwandelt wird, 1 Kilogramm auf die Höhe von 424 Meter heben. Dieser Werth kommt mit dem von Joule durch Versuche gefundenen Aequivalente genau genug überein, um uns die Ueberzeugung zu verschaffen: dass Wärme und Arbeit einander äquivalent sind.

C. Kälte durch Ausströmen comprimirter Luft. Wird Luft in ein Gefäss hinein gepumpt und verdichtet, so wird sie erwärmt, wie man dies am pneumatischen Feuerzeug deutlich beobachtet. Lässt man den leicht beweglichen Stempel langsam zurückweichen, so erhält die Luft wieder ihre

ursprüngliche Temperatur, sobald sie sich bis zum ursprünglichen Volum ausgedehnt hat.

Die beim Zusammendrücken von unserer Hand geleistete Arbeit hat sich in Wärme der Luft umgesetzt, ihre dadurch vermehrte Expansivkraft vermag beim Ausdehnen dieselbe Arbeit durch Ueberwindung eines äussern Widerstandes wieder zu verrichten, ähnlich wie ein gehobenes Pendel die bei seinem Heben verbrauchte Arbeit durch sein Fallen wieder in sich ansammelt und sich dann selbst damit hebt.

Lässt man aber das Gefäss mit comprimirter Luft ruhig stehen, bis alle durch den Druck entstandene Wärme entweicht und das Gefäss sammt der Luft die Temperatur der Umgebung angenommen hat, und lässt dann die Luft sich wieder ausdehnen und ausströmen, so benöthiget sie zur Ausdehnung bis zum ursprünglichen Volumen, wenn sie denselben äussern Lufdruck überwindet, wieder dieselbe Wärmemenge wie früher, sie gibt sie in der That aus ihrer Masse her und kühlt sich dabei gerade um dieselbe Wärmemenge ab, welche man durch ihre Comprimirung erzeugt, aber entweichen lassen hatte. Würde jedoch die comprimirte Luft in einen luftleeren Raum strömen, so würde sie keine äussere Arbeit verrichten und die Temperatur der verdünnten Luft würde am Ende die ursprüngliche sein. Diese Thatsache hat Joule durch ein Experiment bestätiget, indem er Luft von 22 Atmosphärendruck in ein luftleeres Gefäss überströmen liess. — Blosse Verdünnung ohne äussere Arbeit bringt daher im Ganzen keine Abkühlung hervor.

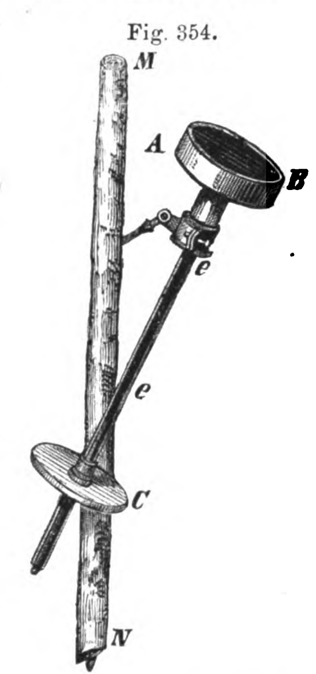
Zu Schemnitz in Ungarn wurde in einer Maschine Luft durch eine 260 Fuss hohe Wassersäule zusammengedrückt. Liess man die Luft durch einen Hahn entweichen, so erzeugte sie in der Umgebung eine solche Kälte, dass die Wasserdünste in der Luft nicht nur condensirt wurden, sondern als Schnee herabfielen, während sich die Ausströmungsröhre mit Eiszapfen bedeckte.

Darnach erklärt sich die Schneebildung auf hohen Bergen durch den Niederschlag von Wasserdunst, welchen die aus den Thälern und Ebenen aufsteigenden Luftströme mitführen und durch ihre starke Ausdehnung unter dem, mit der Höhe stark abnehmenden Luftdrucke, bis zum Gefrieren abkühlen. Darin liegt die Ursache, dass in der heissen Zone am Fusse der Anden brennende Sandwüsten liegen, und dennoch auf der mittleren Höhe derselben ein angenehmes Klima herrscht, während die Gipfel mit ewigem Schnee bedeckt sind.

2. Die Sonne als Wärmequelle haben J. Herschel am Cap der guten Hoffnung und Pouillet in Paris untersucht und übereinstimmende Resultate gefunden. Pouillet bediente sich dazu seines Pyrheliometers (Fig. 354). Dieses besteht aus einem hohlen Stahlcylinder *AB*, der mit Quecksilber angefüllt ist. In dem Cylinder ist das Thermometer *e* eingesteckt, und gibt die Temperatur des Quecksilbers an. Das flache Ende des Cylinders *AB* ist mit Kienruss bedeckt und wird bei der Beobachtung gegen

die Sonne gekehrt, so dass die Strahlen senkrecht seine Fläche treffen. Dieses wird durch die Scheibe *C* erreicht. Die Scheibe hat denselben Durchmesser wie der Stahlcylinder; bedeckt der Schatten des Cylinders eben die Scheibe, so hat das Instrument jene Stellung, bei welcher die Strahlen senkrecht auf die berusste Fläche fallen.

Fig. 354.



Die Resultate der Beobachtung sind: 1) die Atmosphäre absorbirt an 25 Procent der gegen die Erde ausgestrahlten Sonnenwärme, wenn die Sonne im Zenithe steht. 2) Von der Atmosphäre der der Sonne zugewendeten Erdhälfte wird $^4/_{10}$ der zur Erde ausgestrahlten Wärme absorbirt. Ohne Atmosphäre würde die erleuchtete Halbkugel der Erde ungefähr zweimal mehr Wärme von der Sonne direct empfangen als jetzt.

Die ganze Menge der Sonnenwärme, die in einem Jahre von der Erde aufgenommen wird, würde bei gleicher Vertheilung über die Erdoberfläche genügen, um eine Schichte Eis von 100 Fuss Dicke über der ganzen Erdoberfläche zu schmelzen. Näheres darüber werden wir in der Astronomie bei der Angabe des Ganges der Sonne kennen lernen.

Ausser der Sonnenwärme haben auf das Klima einer Gegend Einflusse: die Bodenbeschaffenheit, darnach ob derselbe mit Pflanzen oder Wasser bedeckt oder kahl ist; die Höhe des Ortes über der Meeresfläche; die klimatische Beschaffenheit der Nachbarschaft, vorzüglich ausgedehnte Land- oder Wasserflächen und Gebirgszüge etc.

3. Innere Erdwärme. Die Wärme, welche die oberste Erdschichte von der Sonne erhält, pflanzt sich in das Innere der Erde fort, aber nur langsam, weil die Erdmasse die Wärme schlecht leitet. Die Aenderungen in der Temperatur, die an der Oberfläche stattfinden, erzeugen ähnliche in tiefer liegenden Schichten, aber sie sind desto geringer, je tiefer die Erdschichte liegt, so dass sie in gewissen Tiefen gänzlich verschwinden. Die täglichen Aenderungen erstrecken sich nur auf $1^1/_2$ bis 3 Fuss; die Tiefe, in welcher

die jährlichen Aenderungen verschwinden, ist nicht überall dieselbe; sie hängt von der Wärmeleitungsfähigkeit des Bodens und von der Grösse des Temperaturunterschiedes der höchsten Wärme im Sommer und der niedrigsten im Winter ab. Am Aequator hören in der Tiefe von 1½ Fuss, nach den Beobachtungen von Paris, Strassburg, Zürich, Brüssel erst in der Tiefe von beinahe 24 Meter = 74 Wien. Fuss die jährlichen Schwankungen auf. Die Schichte, wo jede Temperaturänderung verschwindet, heisst die Schichte von unveränderlicher Temperatur. Weil die Wärme nur langsam in das Innere der Erde eindringt, so können die Zeitpunkte der grössten und der niedrigsten Temperatur mit jenen an der Erdoberfläche nicht übereinstimmen; sondern die grösste Wärme tritt je nach Beschaffenheit der Tiefe und der Leitungsfähigkeit des Bodens viel später ein, im October, November oder December, die grösste Kälte im Mai oder Juni ein.

Unter der Schichte von unveränderlicher Temperatur ist der Wärmezustand von der Einwirkung der Sonne und des Weltraumes unabhängig; aber man findet, dass die Temperatur desto höher wird, je tiefer man vordringt. Die Bergleute wussten schon lange, dass in der Tiefe die Veränderungen der Witterung nicht vorkommen, und dass es daselbst stets warm ist. Saussure fand in einem Schachte in der Schweiz die Temperatur von 14·4° C. in der Tiefe von 312 Fuss, und schon 17·4° in der Tiefe von 660 Fuss. Ebenso fand man auch in Bohrlöchern eine mit der Tiefe wachsende Temperatur. In dem Bohrloche des artesischen Brunnens zu Grenelle bei Paris in einer Tiefe von 1650 Fuss eine Temperatur von 27·7° C., in dem zu Neusalzwerk in Westphalen in einer Tiefe von 2050 Fuss die Temperatur von 32·7° C. Die Beobachtungen in Bohrlöchern des artesischen Brunnens in Wien zeigen bei einer Zunahme der Tiefe von 80 Fuss eine Temperaturzunahme von 1° C.; an andern Orten erfolgt diese Erhöhung erst in der Tiefe von 90 bis 100 Fuss.

Man ist durch diese Thatsachen zu der Annahme berechtigt, dass die Erde eine eigenthümliche Wärme besitze, dass schon in einer Tiefe von wenigen Meilen Glühhitze herrsche und das Innere der Erde in geschmolzenem Zustande sich befinde. Die schlechte Wärmeleitungsfähigkeit der obern festen Erdrinde verhindert die Erkaltung des Erdkerns und macht, dass die eigene

Wärme desselben auf der Oberfläche nicht merklich wird. Bekanntlich beweiset die Kugelgestalt, dann die Abplattung der Erde, dass sie einst im flüssigen Zustande sich befand. Allmälig erstarrte die Oberfläche, aber noch lange äusserte die innere Erdwärme einen günstigen Einfluss auf den Wärmezustand der Oberfläche, so dass selbst im hohen Norden eine tropische Vegetation bestehen konnte, wie die daselbst vorkommenden versteinerten Palmstämme zu beweisen scheinen. Später wurde die feste Erdrinde so dick, dass der Einfluss der innern Erdwärme auf die Oberfläche verschwunden ist; seit mehr als 2000 Jahren ist die Temperatur der Erde unverändert geblieben.

Für die eigenthümliche Wärme der Erde spricht auch die von Bischoff beobachtete Thatsache, dass bis zu einer Höhe von 6000 Fuss das Eis unter den Gletschern da, wo es den Boden berührt, abschmilzt; die Temperatur des Bodens bleibt aber beständig bei 0°, weil die aus dem Innern der Erde kommende Wärme zum Schmelzen des Eises verwendet wird.

a) Die Quellen, die in der Tiefe von unveränderlicher Temperatur ihren Ursprung nehmen, haben eine Temperatur, welche mit der mittleren Lufttemperatur des Ortes nahe übereinstimmt, und im Laufe eines Jahres sich kaum um 1° oder 2° ändert. Jene Quellen, die ihr Wasser von höher liegenden Schichten erhalten, besitzen eine Temperatur, die höher ist als die mittlere Ortswärme, aber nur um wenige Grade, so lange die Tiefe, aus der das Wasser kommt, über 20 Fuss zählt. Hieraus erklärt sich, warum in Teichen manche Stellen im Sommer sehr kalt, im Winter aber gar nicht gefroren sind. Die jährlichen Temperaturänderungen der Quellen, die nicht tief ihren Ursprung haben, sind desto beträchtlicher, je geringer diese Tiefe ist. — Da die Quellen ihr Wasser in Gegenden von grösserer geographischer Breite hauptsächlich während der heissen, in geringeren Breiten aber während der kalten Jahreszeit erhalten, so ist die Temperatur der ersteren um einige Grade höher, der letzteren um einige Grade niedriger als die Jahreswärme.

Quellen, denen aus Tiefen unter der Fläche der unveränderlichen Temperatur das Wasser zugeführt wird, sind an dem höheren Wärmegrade erkennbar, welchen sie besitzen, und der unveränderlich bleibt, wie wir es bei vielen artesischen Brunnen finden. Die Unveränderlichkeit heisser Mineralquellen

(Thermen) ist ein Beweis, dass sie ihrer Wärme nicht electrischen und chemischen Processen verdanken, da diese nicht durch viele Jahre unausgesetzt mit derselben Stärke vor sich gehen könnten. Die Thermalquelle von Carlsbad hat 75° C., von Baden-Baden 67.5°, von Wiesbaden 70°.

Auf Bergen ist die Tiefe der Schichte der unveränderlichen Temperatur tiefer als in den Thälern, weil sie einen grössern Wärmeverlust erleiden; allein unter derselben nimmt die Erdwärme zu, weshalb bei hohen und ausgedehnten Bergen nicht selten heisse Quellen an ihrem Fusse entspringen.

b) Die Erscheinungen der Vulkane lassen sich aus der innern Erdwärme und der Expansivkraft der Dämpfe genügend erklären; denn sobald Wasser in jene Tiefen dringt, wo Glühhitze herrscht, entstehen Dämpfe von sehr hoher Spannkraft, die, indem sie einen Ausweg suchen, Erdbeben, Emporhebungen von Inseln und ganzer Länderstrecken, so wie alle bei vulkanischen Ausbrüchen beobachteten Erscheinungen zu bewirken vermögen. Die Menge der aus den Kratern aufsteigenden Dämpfe ist ungeheuer gross, so dass dagegen die übrigen Gase, die dem Dampfe beigemischt sind, verschwinden; durch die Spannkraft dieser Dämpfe werden aus dem Schlunde des Kraters grössere oder kleinere Gesteinstrümmer herausgeschleudert, die oft bis zu 6000 Fuss hoch emporsteigen. Die Lava verdankt ihren Ursprung den festen Steinmassen, die durch Berührung mit den erhitzten Wasserdämpfen geschmolzen werden. — Durch Erdbeben können neue Gebirgsspalten entstehen, durch die das aus bedeutenden Tiefen aufsteigende Wasser an die Erdoberfläche zu kommen vermag, oder es können sich auch Gebirgsspalten schliessen, durch die bisher den Quellen warmes Wasser zugeführt wurde, daher können Erdbeben neue heisse Quellen erzeugen oder solche schliessen.

4. **Wärmeentwicklung durch den Lebensprocess.** Nach **Lavoisier** nimmt ein erwachsener Mensch täglich 65 Loth *O* durch die Lunge in sich auf. Der Sauerstoff verbindet sich im Organismus mit dem Kohlenstoffe und Wasserstoffe gewisser leicht oxydirbarer Theile und verlässt den Organismus in Form von kohlensaurem Gas und Wasserdunst.

Liebig, dem wir eine genauere Kenntniss der im Organismus entwickelten Wärme verdanken, hat durch sorgfältige, längere Zeit fortgesetzte Untersuchungen die Kohlenstoffmenge bestimmt, die ein erwachsener Mann in seinen Speisen zu sich nahm, davon die Menge des mit den Excrementen abgegangenen Kohlenstoffes abgezogen, und auf diese Art gefunden, dass bei mässiger Bewegung des Mannes täglich 27·8 Loth Kohlenstoff in

Form von Kohlensäuregas durch Haut und Lunge austreten, wobei 74 Loth Sauerstoff verwendet werden. Ein Theil des in den Organismus eintretenden Sauerstoffes verbindet sich daselbst auch mit dem Wasserstoffe zu Wasser, jedoch ist diese Menge geringer als die, welche mit dem Kohlenstoffe in Verbindung tritt.

Im Organismus geht ein beständiger Stoffwechsel vor sich, indem bei jeder Kraftanwendung zu willkürlichen und unwillkürlichen Bewegungen des thierischen Organismus gewisse dabei thätige Theile leblos, aber durch die Thätigkeit der Lebenskraft in einiger Zeit aus dem Blute wieder ersetzt werden. Die leblos gewordenen Theile sind unvermögend, der Einwirkung des eingeathmeten Sauerstoffes zu widerstehen, ihre Elemente gehen neue Verbindungen ein, die theils als Kohlensäuregas, theils als Wassordunst durch Haut und Lunge, theils in andern Formen auf andern Wegen aus dem Organismus herauskommen. Bei der Bildung dieser Verbindungen entwickelt sich die Wärme, deren der Organismus bedarf, damit die Lebenskraft ungeschwächt wirksam bleibe.

Die Untersuchungen lehren, dass alle lebenden Wesen, deren Existenz an die Aufsaugung von Sauerstoff gebunden ist, eine eigene Wärmequelle in sich selbst besitzen, die von der Temperatur der Luft, welche sie umgibt, oder des Wassers, in dem sie leben, unabhängig ist, und die bewirkt, dass der Organismus stets bei einem Wärmegrade erhalten wird, der in der Regel etwas höher ist, als der Wärmegrad der Umgebung. Dies zeigt sich nicht allein bei den Thieren, sondern auch beim keimenden Samen, bei der Blüthe und der reifenden Frucht der Pflanze, da die Pflanze in diesen Perioden ihrer Entwicklung Sauerstoff aufnimmt.

Die zuverlässigsten Beobachtungen beweisen, dass bei allen Thieren, die durch Lungen athmen, deren ganze Blutmasse den Weg durch die Lunge nimmt, die ihnen eigenthümliche Wärme von dem Wärmegrade der Umgebung vollständig unabhängig ist und immer bei demselben Grade bleibt. So hat der erwachsene Mensch in allen Ländern, am Pol wie am Aequator, auf Bergen und Thälern, im Winter und im Sommer dieselbe, niemals wechselnde Temperatur von 30° R. Ist die Umgebung wärmer, so strömt allerdings dem Organismus Wärme von aussen zu; diese wird aber zur Schweissbildung und zur Verdunstung

des erzeugten Schweisses verbraucht, die Temperatur des Körpers bleibt unverändert. Diese Eigenwärme ist für die Wirksamkeit der Lebenskraft unerlässlich, so dass jede Aenderung dieses Wärmegrades einen unbehaglichen oder gar einen Krankheitszustand zur Folge hat.

Die Eigenwärme beträgt bei einem Kinde 31·2, bei einem Vogel 32 bis 32·8, bei vierfüssigen Thieren 30 bis 30·8° R.

Die Eigenwärme eines Fisches oder eines Amphibiums ist um 1½ bis 2° grösser als die des Mittels, in dem sie leben.

Diesen unveränderlichen Wärmegrad besitzen nur diejenigen Theile des thierischen Organismus, zu welchen das arterielle Blut, das in der Lunge den eingeathmeten Sauerstoff aufgenommen hat, während der Circulation gelangen kann; daher haben Haare, Federn, Nägel, Klauen, Hörner, die Oberhaut, da sie keine Blutgefässe besitzen, keine Eigenwärme und ihre Temperatur ist in einer kalten Umgebung 2 bis 3° niedriger, als die der übrigen Theile des Körpers. Hieraus folgt, dass die Wärme nur in denjenigen Theilen entsteht, zu denen der Sauerstoff gelangen kann, wo sich aber auch Stoffe in einem dem Sauerstoffe leicht zugänglichen Zustande vorfinden, wie es die leblos gewordenen, verbrauchten Theile des Organismus, aber auch gewisse andere Stoffe sind, die aus den stickstofffreien, zur Blutbildung nicht geeigneten Nahrungsmitteln, wie Zucker, Stärke, Gummi, Fett, Weingeist durch die Thätigkeit der Verdauungsorgane im Organismus gebildet werden.

Die im Organismus vor sich gehende Verbindung des Sauerstoffes mit Kohlen- und Wasserstoff muss nothwendig von einer Wärme-Entwicklung begleitet sein, ja die dabei erzeugte Wärmemenge beträgt genau so viel, als wenn diese Stoffe in der Luft oder im Sauerstoffgase verbrannt worden wären; der einzige Unterschied besteht darin, dass der Vorgang der Verbindung im lebenden Körper langsamer stattfindet, als bei dem gewöhnlichen Verbrennungsprocesse, weil im Thierkörper ein bestimmtes Gewicht von Kohlen- und Wasserstoff erst in einer längern Zeit mit dem Sauerstoffe in Verbindung treten, und die diesem Gewichte entsprechende Wärmemenge entwickelt werden kann.

Nun ist zu untersuchen, ob durch diese Verbindung des Sauerstoffes mit den beiden Brennstoffen im Organismus eine so

bedeutende Wärmemenge entstehen könne, als nöthig ist, um ihn bei seiner Eigenwärme zu erhalten?

Obwohl die Versuche über den Sauerstoffverbrauch und über die dabei erzeugte Wärme nicht einen hohen Grad von Genauigkeit haben können, so sind sie doch für die aufgestellte Frage entscheidend. Beim Verbrennen von 1 Pfund Kohlenstoff wird nach Andrews eine Wärmemenge entwickelt, mit der man 7881 Pfunde Wasser um 1° C. zu erwärmen vermag; daher gibt 1 Loth die Wärmemenge von 246·2 Wärmeeinheiten; mit dieser Wärme könnte man die Temperatur von 6·56 Pf. Wasser auf 37·5° C. bringen. Demnach wäre es möglich, mit der Wärme von 27·8 Loth Kohlenstoff, welche im Körper eines Erwachsenen bei mässiger Bewegung in der Zeit von 24 Stunden in Kohlensäure umgewandelt werden, 182·4 Pfund Wasser von 0° bis auf die Temperatur von 37·5° C. zu bringen.

Berücksichtigt man, dass ein Erwachsener in 24 Stunden beinahe 3 Pfund Wasser durch Lunge- und Hautausdünstung verliert, und dass zur Verdunstung von 1 Pfund Wasser bei 37·5° C. die Wärmemenge von 583·5 Wärmeeinheiten, mithin bei der von 3 Pfund 1750·5 Wärmeeinheiten verbraucht werden, die im Stande sind, 46·8 Pfund Wasser von 0 bis auf 37·5° C. zu erwärmen, so müssen wir diese Wärmemenge von der durch das Verbrennen des Kohlenstoffes, d. i. von 182·4 abziehen, und erhalten noch immer eine Wärmemenge, die im Stande ist, 135·6 Pfund Wasser von 0 bis 37.5° zu erwärmen; diese Wärmemenge vermag die Temperatur von 171·6 Pfund des menschlichen Körpers von 0° bis 37·5° C. zu steigern, weil die specifische Wärme des menschlichen Körpers nur 0.79 von der des Wassers beträgt. Beträgt das Gewicht des Menschen nur 120 Pfund, so könnte diese durch die beim Verbrennen des Kohlenstoffes im menschlichen Körper in 24 Stunden entstandene und nicht zur Dampfbildung verwendete Wärmemenge von 0° bis 53·6° C. erwärmt werden; demnach entfallen für jede Stunde etwas mehr als 2° C., die zur Deckung des Wärmeverlustes dienen, den der Körper von 120 Pf. beständig zu erleiden hat.

Wir haben aber noch zu beachten, dass nicht aller vom Organismus aufgenommene Sauerstoff zur Bildung von Kohlensäure verwendet wird; die Beobachtungen lehren, dass von 10 Volumen

Sauerstoff, welche durch das Blut in den Thierkörper gekommen sind, bei Pflanzenfressern nur 9 Volume, bei Fleischfressern nur 5 bis 6 Volume in der Form von Kohlensäure herausgetreten sind; der übrige Theil des Sauerstoffes geht mit dem Wasserstoffe eine Verbindung ein, wobei abermals eine nicht geringe Wärmemenge entwickelt wird, so dass die gesammte durch das langsame Verbrennen des Kohlenstoffes und des Wasserstoffes im menschlichen Körper erzeugte Wärme in der That hinreichend gross ist, um den Körper stets bei der Temperatur von 30° zu erhalten, vorausgesetzt, dass man die nöthigen Schutzmittel gegen starken Wärmeverlust nicht ausser Acht lässt. Denn der Thierkörper verhält sich gegen seine Umgebung ebenso, wie jeder andere warme Körper; ist diese Umgebung kälter, so gibt er einen Theil seiner Wärme ab; und nimmt von ihr Wärme auf, sobald sie eine höhere Temperatur besitzt. Der Wärmeverlust an die kältere Umgebung ist in jeder Secunde desto bedeutender, je grösser die Temperaturdifferenz zwischen ihr und dem organischen Körper ist; daher im Winter beträchtlicher als im Sommer, aber insbesondere gross in den Polarländern, wo den Menschen oft eine Atmosphäre umgibt, deren Wärmegrad 40° bis 50° C. niedriger ist, als der seines Körpers; dagegen ist der Wärmeverlust, den ein Südländer z. B. in Palermo erleidet, sehr gering, da hier der Wärmegrad der Luft beinahe derselbe ist, wie der seines Körpers.

Die Erkaltung erfolgt nicht bei allen Körpern gleich schnell; so geben z. B. fette Leute im Allgemeinen weniger Wärme ab, und frieren daher in geringerem Grade als magere. Ferner hängt auch die Grösse des Wärmeverlustes, den ein Körper durch die Umgebung erleidet, von der Grösse seiner Oberfläche ab; da nun eine kleinere Masse verhältnissmässig eine grössere Oberfläche hat, als eine grössere von gleicher Beschaffenheit, so erkaltet die kleinere rascher als die grössere; daher erfrieren zarte Kinder leichter, sobald ihnen die nöthigen Schutzmittel gegen die Kälte mangeln.

Bedarf an Nahrungsmitteln. Hat der Thierkörper einen grössern Wärmeverlust erlitten, so bedarf er auch eines grössern Ersatzes an Wärme, der nur möglich ist, wenn eine grössere Menge von Sauerstoff aufgenommen und mehr Kohlen- und Wasserstoff verbrannt wird. Letztere Stoffe müssen dem Körper aus den genossenen Nahrungsmitteln ersetzt werden; daher wächst der **Bedarf an Nahrungsmitteln** mit der Grösse des Wärmeverlustes, den der Thierkörper erleidet.

Der Thierkörper, sagt Liebig, erscheint in dieser Beziehung wie ein Ofen, und die Speise als Brennmaterial; was immer die Speisen für Veränderungen im Körper erleiden mögen, die letzte Veränderung, die sie erfahren, ist immer eine Verwandlung des Kohlenstoffes in Kohlensäure und des Wasserstoffes in Wasser; der Stickstoff und der unverbrannte Kohlenstoff der organischen Stoffe werden in dem Urin und in den festen Excrementen abgeschieden. Soll der Wärmegrad eines Ofens unveränderlich bleiben, so muss die Menge des Brennmaterials jederzeit der wechselnden äussern Temperatur entsprechen; gerade so verhält es sich mit dem Thierkörper, dessen Temperatur, ungeachtet des beständigen, bald grössern, bald kleinern Wärmeverlustes an die kältere Umgebung, stets bei demselben Grade erhalten werden muss. Allein damit in derselben Zeit mehr Brennmaterial verbrenne, und so eine grössere Wärmemenge erzeugt werde, ist auch eine grössere Menge von Sauerstoff nöthig. Die Menge des Sauerstoffes, welche eine Mensch oder ein Thier durch die Lunge aufnimmt, wächst mit der Anzahl und Tiefe der Athemzüge, mit der Grösse und dem Umfange der Lungen und auch mit der Schnelligkeit, mit welcher das Blut durch die Lunge strömt, und die nach der Anzahl der Pulsschläge in einer gegebenen Zeit beurtheilt werden kann; so finden wir, dass bei Kindern die Pulsschläge und Athemzüge rascher aufeinander folgen als bei Erwachsenen, weshalb auch der Wärmegrad ihres Blutes höher ist, und sie schon deshalb häufiger und verhältnissmässig mehr Nahrung brauchen als Erwachsene. In kalter Luft ist die Anzahl und Tiefe der Athemzüge grösser als in warmer, daher wird in kalter Luft mehr Sauerstoff eingeathmet.

Männliche Personen athmen im Allgemeinen mehr Sauerstoff ein, als weibliche vom gleichen Alter, weil die Brusthöhle grösser, somit die Athemzüge stärker sind. Auch soll nach Dulk die Fähigkeit der Respirationsorgane, Luft und somit Sauerstoff einzusaugen, am Tage um $^1/_3$ grösser sein als zur Nachtzeit. — Auch bei einem Vogel sind die Respirationswerkzeuge in grösserer Thätigkeit als beim Menschen, weshalb die Eigenwärme des Vogels höher ist, und er beim Mangel an Nahrung schon am dritten Tage stirbt. Eine Schlange athmet äusserst langsam und verzehrt, unter eine Glasglocke gebracht, in einer Stunde so wenig Sauerstoff, dass das dabei erzeugte kohlensaure Gas kaum bemerkbar wird, daher kann eine Schlange sogar drei Monate ohne Nahrung bestehen.

Bewegung und Arbeit, so wie auch Sprechen und Schreien mehrt die Anzahl der Athemzüge, mithin auch den Sauerstoffverbrauch. Hieraus wird uns die Wärmeentwicklung begreiflich, die bei einer schnellen Bewegung und beim anhaltenden Sprechen zu entstehen pflegt. Wird mehr Wärme entwickelt, als zum Ersatze des erlittenen Wärmeverlustes erforderlich ist, so tritt der Schweiss heraus, durch dessen Verdunstung die überflüssige Wärme abgeführt wird; entblössen wir die schwitzende Hautfläche und begünstigen dadurch die Verdunstung, so verlieren wir bald das Gefühl der Hitze im ganzen Körper.

Der Sauerstoff dringt auch durch die Haut in den Organismus ein, und dies desto reichlicher, je mehr für die Reinlichkeit der Haut gesorgt wird. Man hat die ganze äussere Körperoberfläche eines Kaninchens mit einem luftdichten Firnisse überzogen und gefunden, dass seine Temperatur schon in einer Stunde um 12° gesunken ist.

Aus dem Gesagten lassen sich mehrere wichtige Erscheinungen leicht erklären. Bei warmer Bekleidung ist das Bedürfniss nach einer starken, die Respiration fördernden Bewegung und daher auch das Bedürfniss nach Speise nicht so dringend, als bei schlechten Schutzmitteln gegen die Kälte. Würden wir nackt herumgehen, wie die Indianer, so müssten wir viel angestrengter arbeiten und mehr Nahrung verbrauchen. Reisende erzählen mit Verwunderung, dass der Samojede, der beim Jagen und Fischen bedeutender Kälte ausgesetzt ist, etwa 10 Pfund Fisch oder Fleisch, dazu ein Dutzend Talglichter und eine Menge Branntwein oder Thran in einem Tage zu sich nimmt, deren reichlicher Kohlen- und Wasserstoff ihm dazu dient, den Ersatz an Wärme mit dem Wärmeverluste bald in's Gleichgewicht zu setzen.

In der gemässigten und kalten Zone wird der Mensch zur Anstrengung und Arbeit gedrängt, um den starken Wärmeverlust zu ersetzen, aber auch um im Stoffwechsel sich die Mittel zum Widerstande gegen die dichte, sauerstoffreiche Luft, die unsern Körper zu verzehren droht, zu verschaffen. Denn findet der Sauerstoff im Innern des Organismus keine leblos gewordenen oder solche Stoffe, die aus den stickstofffreien Nahrungsmitteln entstanden und geeignet sind, sich leicht mit ihm zu verbinden, so greift er die Respirationsorgane an, und es entstehen Lungenkrankheiten; sie entstehen bekanntlich häufig in der kalten Jahreszeit, wo die Luft dichter ist. Ein schnelles Laufen bei grosser Kälte kann leicht eine Lungenentzündung herbeiführen.

Jede Abkühlung des Körpers nöthigt uns mehr zu essen; so wird durch blossen Aufenthalt im Freien, selbst ohne vermehrte Bewegung der Appetit gesteigert, weil der Wärmeverlust durch Ausstrahlung der Wärme und durch gesteigerte Verdunstung erhöht wird; daher hat man auf Reisen in der Regel immer guten Appetit, Stillung des Hungers ist das wirksamste Schutzmittel gegen Kälte. — Der häufige Genuss von kaltem Wasser vermehrt den Appetit, weil durch das Wasser, das im Körper bis auf 30° R. erwärmt wird, ein grosser Wärmeverlust herbeigeführt wird; um nun den Sauerstoff, der zum Ersatz der

verlornen Wärme nothwendig ist, zu gewinnen, muss man durch anhaltende Bewegung die Respiration steigern. Allein man muss auch starker Verdauungsorgane sich erfreuen, um im Stande zu sein, die grössere Menge von Speisen in der gehörigen Zeit in den Zustand zu versetzen, in welchem die Verbindung mit dem Sauerstoffe leicht erfolgen kann. Personen von schwachen Verdauungsorganen dürfen sich den Genuss von grossen Quantitäten kalten Wassers nicht erlauben.

Raubthiere der kalten Klimate sind viel gefrässiger als die in warmen Gegenden hausenden. Wäre der Norden die Heimath des Löwen und des Tigers, so würden sie eine weit grössere Menge von Thieren verzehren, als in der heissen Zone. Die Raubvögel schützt die Natur durch ein starkes Gefieder gegen grossen Wärmeverlust; sie hausen gewöhnlich in Höhen, wo die Luft dünner ist, und sie deshalb weniger Sauerstoff einathmen; sonst würden sie weit mehr Thiere zu ihrer Erhaltung bedürfen.

Ein Südländer, z. B. in Neapel oder in Sicilien, der in einer warmen Atmosphäre lebt, also auch nur warme und weniger dichte Luft einathmet, braucht in seinen Speisen bei weitem nicht so viel Kohlen- und Wasserstoff, als der Bewohner des Nordens, ja bei einer grössern Menge von kohlenstoffhaltigen Speisen, als die eingeathmete Menge von Sauerstoff in Kohlensäure umzuwandeln vermag, entstehen gefährliche Anhäufungen von Kohlenstoff in der Leber (Kohlenstoffkrankheiten), wie sie auch bei uns gewöhnlich im Sommer bei Mangel an Bewegung, also bei Mangel an Sauerstoff sich zu bilden pflegen. In den Früchten, die der Südländer geniesst, sind nur 12 Procent Kohlenstoff, während in dem Speck und dem Thran des Nordländers 66 bis 70 Procent Kohlenstoff enthalten sind. Man sieht, dass es den Italienern oder Arabern nicht schwer fallen kann, mässig zu leben; unter dem Aequator ist es möglich, dem Hunger selbst längere Zeit hindurch Trotz zu bieten, aber in kalten Klimaten reiben Kälte und Hunger den Körper bald auf.

Der Engländer, der in seiner Heimath an reichliche und derbe Kost gewohnt ist, sieht, wenn er in das heisse Klima von Jamaica kommt, mit Bedauern seinen Appetit schwinden.

Aus dem Gesagten wird auch ersichtlich, warum Nordländer, deren Verdauungswerkzeuge zu schwach geworden sind, um jene Menge von Speisen zu geniessen, die das Klima ihrer Heimath erheischt, in südliche Gegenden sich begeben, wo das Bedürfniss nach Nahrung nicht so dringend ist, daher die geringe Menge von Nahrung, die hier der Mensch braucht, auch noch von den geschwächten Verdauungsorganen gehörig verarbeitet werden kann. Ein schwächlicher Mensch kann sich, wie man leicht einsieht, an einem warmen Orte bei wenig Bewegung und leicht verdaulicher, mässiger Nahrung lange Zeit erhalten.

Es gibt Krankheiten, in welchen sich Stoffe erzeugen, die zur Assimilation nicht verwendbar sind und aus dem Körper herausgeschafft werden müssen; dies geschieht oft schon dadurch, dass man sich des Genusses von Speisen enthält, weil dann die Bestandtheile dieser Krankheitsproducte mit

dem aufgenommenen Sauerstoffe in Verbindung treten und aus dem Körper entweichen; denn der Sauerstoff, der in den Körper eingedrungen ist, verbindet sich daselbst mit allen Materien, mit denen er in Berührung kommt, wenn sie seiner Thätigkeit keinen Widerstand zu leisten vermögen, was bei allen leblosen organischen Producten bei Gegenwart von Wasser und einem Wärmegrade über Null der Fall ist.

Der Respirationsprocess wird uns vollkommen klar, wenn wir den Zustand eines Menschen oder eines Thieres bei Enthaltung aller Speisen beobachten. Die Athembewegungen bleiben ungeändert, daher werden täglich mehr als 65 Loth Sauerstoff in den Organismus aufgenommen, der ihm eine gewisse Menge von Kohlen- und Wasserstoff entzieht und dadurch das Gewicht desselben vermindert. Dies wird zuerst an dem Verschwinden des Fettes wahrnehmbar; denn da das verschwundene Fett in den Excrementen des Verhungernden nicht nachweisbar ist, so ist es gewiss, dass sein Kohlen- und Wasserstoff in Verbindung mit dem Sauerstoffe durch Haut und Lunge ausgetreten ist. — Auf diese Art wird bei den Winterschläfern das Fett, das sich vor der Zeit des Schlafes reichlich ablagert, während des Winterschlafes, wo ein schwacher Lebensprocess fortdauert, ganz aufgezehrt. Das Fett enthält nämlich in 100 Theilen 78·7 Theile Kohlenstoff, 11·8 Wasserstoff und 9·4 Sauerstoff, und ist ganz geeignet, die Einwirkung des in den Organismus eintretenden Sauerstoffes auf sich zu ziehen. Ein Kranker, führt Liebig an, der nicht schlingen konnte, verlor während eines Monats 100 Pfund an seinem Gewichte; ein verschüttetes Schwein blieb 160 Tage ohne Nahrung und verlor 120 Pfund am Gewichte.

Ist das Fett verzehrt worden und dauert die Entziehung der Nahrungsmittel noch länger fort, so werden nach und nach alle festen der Löslichkeit fähigen Theile vom Sauerstoff angegriffen, die Muskeln werden dünn, mürbe, sie verlieren ihre Fähigkeit sich auszudehnen und zusammenzuziehen, weil alle weichen, der Bewegung fähigen Theile des Körpers zu Sauerstoffverbindungen verwendet werden, um die zum Bestehen des Lebens wesentlichen Gebilde, wie die Gehirn- und Nervensubstanz gegen die zerstörende Einwirkung des Sauerstoffes zu schützen. Erhält der Körper noch immer keine Nahrung, so werden auch diese wichtigen Gebilde angegriffen; die Gehirnsubstanz erliegt dieser Einwirkung des Sauerstoffes, es tritt Irrereden, Wahnsinn ein und endlich erfolgt der Tod, das heisst, es hört jeder Widerstand im Organismus auf, alle seine Theile werden durch den Einfluss des Sauerstoffes zerstört.

Eilfter Abschnitt.

Grundlehren der Astronomie.

Die Astronomie hat auf ihrem Gebiete die Aufgabe der Physik, was die Gesetze der Erscheinungen betrifft, vollkommen gelöst, denn sie hat die Gesetze der Erscheinungen an den Weltkörpern aufgefunden und sie auf wenige unbekannte Ursachen, auf die Grundvorstellungen der Trägheit und Anziehung, zurückgeführt.

Der berühmte Astronom Copernicus (geb. 1472, gest. 1543) hat das bis dahin angenommene Ptolomäische System vom Jahre 140 nach Chr. Geb., nach welchem die Erde ruhen und alle andern Weltkörper sich um dieselbe bewegen sollten, gestürzt durch seine natürliche Erklärung, dass die Sonne, nicht aber die Erde der Centralkörper sei, um den sich die Planeten sammt der Erde bewegen. — Gallilái (1564—1642), der zuerst im Jahre 1609 ein selbstangefertigtes Fernrohr auf die Himmelskörper richtete, fand die Folgerung des Copernicus bestätigt, dass der Abendstern, Venus genannt, ähnlich wie der Mond sein Licht wechsle; er entdeckte ferner am Jupiter und seinen Monden ein Abbild des Sonnensystems im Kleinen, zum schlagenden Beweise, dass sich nicht Alles um die Erde dreht. Und an allen Weltkörpern beobachtete er die Kugelgestalt. — Um die nämliche Zeit lebte Kepler (geb. 1571, gest. 1630), der sein ganzes Leben dem Studium der Gesetze der Bewegung der Himmelskörper widmete; durch seine drei in der Mechanik angeführten Gesetze bahnte er dem genialen Newton (geb. 1664, gest. 1727) den Weg zur Entdeckung des Gesetzes der Gravitation.

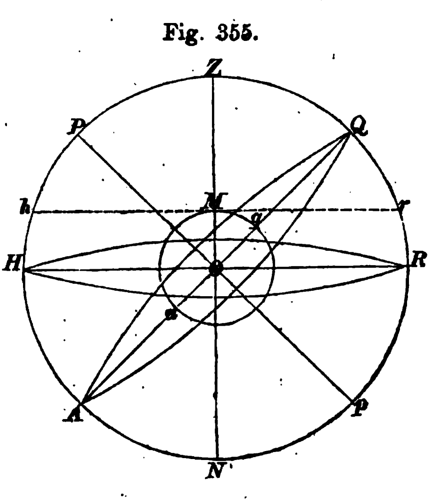
Mit Hilfe der allmäligen Entwickelung der höhern Mathematik gelang es dem grossen Laplace in seiner Mécanique céleste ein System von Weltkörpern mit allen seinen Erscheinungen mathematisch zu construiren und unser Sonnensystem auf eine unumstössliche Weise zu erklären.

Aus Störungen, die der Planet Uranus erleidet, folgerte Leverrier nach der Theorie des Weltsystems, dass sie von einem weiter von der Sonne als Uranus entfernten, noch unbekannten

Planeten herrühren, berechnete im voraus dessen Masse, Entfernung, Umlaufszeit und Position. Die Ergebnisse seiner Rechnung theilte er dem Astronomen Galle in Berlin mit, und dieser fand den unbekannten Störer, zum wahren Triumphe der Wissenschaft, indem er das Telescop auf jene Himmelsgegend richtete, wo der Planet zufolge der Berechnung sich befinden sollte. So wurde der Planet Neptun im Jahre 1846 theoretisch entdeckt.

§. 1. **Vorbegriffe zur Orientirung im Weltraume.** Eine längere Betrachtung des gestirnten Himmels belehrt uns, dass alle Gestirne in beständiger Bewegung zu sein scheinen, aber ein Punkt in der Nähe des sogenannten Polarsternes unbeweglich bleibt. Diesen Punkt nennt man Nordpol, und jene gerade Linie, die man sich von ihm durch den Erdmittelpunkt wieder bis an das Himmelsgewölbe gezogen denkt, heisst die Weltaxe Pp (Fig. 355), und der durch die Erde gehende Theil derselben die Erdaxe. Der Ort, den die vom Nordpol durch den Erdmittelpunkt gehende Weltaxe am Himmelsgewölbe trifft, heisst der Südpol.

Fig. 355.



Der ganze Sternenhimmel scheint sich in je 24 Stunden einmal in der Richtung von Ost nach West um die Weltaxe zu drehen. Diese scheinbare Umdrehung des Sternenhimmels kommt daher, dass sich die Erde um ihre Axe in 24 Stunden einmal von West nach Ost dreht.

Während der täglichen Umdrehung der Erde scheint jeder Fixstern Tag für Tag einen und denselben Kreis um die Erde zu beschreiben. Da die gegenseitige Entfernung der Fixsterne stets dieselbe bleibt, so sind diese beschriebenen Kreise zu einander parallel und heissen deshalb Parallelkreise; ihre Ebenen stehen senkrecht auf der Weltaxe. In unsern nördlichen Breiten sind die Parallelkreise einiger Fixsterne nahe am Nordpole ganz sichtbar,

so dass diese Sterne nie unter den Horizont sinken. Solche Fixsterne nennt man Circumpolarsterne.

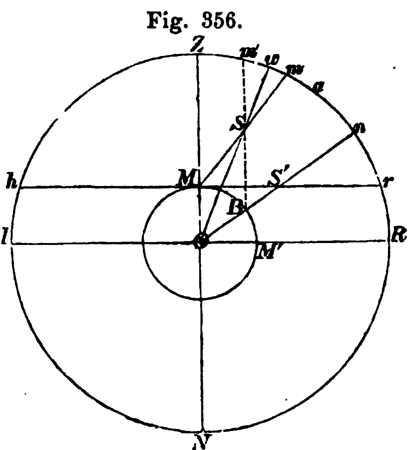
Jener Parallelkreis *AQ*, der von beiden Polen gleich weit entfernt ist und dessen Ebene durch den Erdmittelpunkt geht, wird Himmelsäquator genannt; seine Ebene gibt in ihrem Durchschnitte mit der Erdoberfläche den Erdäquator, der die Erdoberfläche in zwei gleiche Theile, in eine nördliche und eine südliche Hälfte, theilt. Der verlängerte Erdhalbmesser eines Ortes *M* trifft das Himmelsgewölbe in dem Zenithe oder Scheitelpunkte *Z* des Ortes und im Nadir *N*. — Jener Kreis *PZp*, der durch den Zenith und die beiden Pole geht, heisst Himmelsmeridian oder Mittagskreis des Ortes; er durchschneidet die Erdkugel in einem concentrischen Kreise, welcher der Erdmeridian des Ortes genannt wird. Der zwischen dem Aequator und dem betreffenden Orte liegende Bogen *Mq* des Meridians gibt den Abstand des Ortes vom Aequator an und heisst die geographische Breite des Ortes.

Eine senkrecht auf den Erdhalbmesser des Ortes *M* gelegte Ebene *hr* heisst Horizontebene oder schlechtweg Horizont. Die Beobachtungen lehren, dass bezüglich der Entfernung der Fixsterne alle Dimensionen der Erde verschwindend kleine Grössen sind, daher man die Erde bei allen Untersuchungen der Fixsterne als einen Punkt betrachten und annehmen darf, dass der sogenannte scheinbare Horizont *hr* des Ortes mit der parallelen, durch den Erdmittelpunkt gehenden Ebene *HR*, die man den wahren Horizont nennt, zusammenfällt. — Anders verhält es sich in Bezug auf die Weltkörper unsers Sonnensystems, denn sie erscheinen von verschiedenen Standorten an der Edoberfläche gleichzeitig beobachtet an verschiedenen Stellen des Himmelsgewölbes.

§. 2. **Bestimmung der Entfernung und der Grösse eines Planeten.** Zu dieser Bestimmung dienen die Parallaxen, und zwar die Höhenparallaxe oder der Winkel *MSO* (Fig. 356), den die vom Beobachtungsorte *M* und vom Erdmittelpunkte *O* zu dem über dem Horizonte befindlichen Weltkörper oder Stern *S* gezogenen Gesichtslinien mit einander einschliessen; und die Horizontal-Parallaxe *MS'O*, wenn der Stern im Horizonte des Ortes beobachtet wird. Als Maass der Parallaxe nimmt man den

Bogen mw und nr. — Ist aus der bekannten Bewegung des Gestirnes der Ort B bekannt, in dessen Zenithe n der Stern in dem Augenblicke erscheint, wenn er in den Horizont des Beobachtungsortes M tritt, so hat man nur nöthig, an beiden Orten M und B seinen Abstand na und ra von einem Fixsterne a zu bestimmen, um die Horizontal-Parallaxe $nr = ra - na$ zu finden.

Fig. 356.



Man hat mehrfache und genaue Bestimmungsweisen der Horizontal-Parallaxe, aus der sich bei der bekannten Grösse des Erdhalbmessers nicht nur die Höhenparallaxe, sondern auch die Entfernung und der wahre Halbmesser des Gestirnes berechnen lässt. Denn bedeutet h die Höhe des Sternes, d. i. den Winkel SMr, α die Horinzontal-Parallaxe $MS'O$, β die Höhenparallaxe MSO, R den Erdhalbmesser MO, und D die Entfernung $OS = OS'$ des Sternes vom Erdmittelpunkte, so ist

$$D : R = \sin SMO : \sin \beta = \cos h : \sin \beta, \text{ und}$$

$$D : R = 1 : \sin \alpha, \text{ daher ist}$$

$$\sin \beta = \sin \alpha \cdot \cos h \ldots (1) \text{ und } D = \frac{R}{\sin \alpha} \ldots (2) \ldots \text{d.h.?}$$

Bezeichnet man mit ρ den Winkel, unter welchem der Halbmesser r des Gestirnes von M aus gesehen erscheint, mit α die Horizontal-Parallaxe oder den Sehwinkel, unter welchem der Halbmesser R der Erde vom Gestirne aus zu sehen wäre, so ist nach der Optik

$$\varsigma = \frac{r}{D} \text{ und } \alpha = \frac{R}{D}, \text{ mithin ist}$$

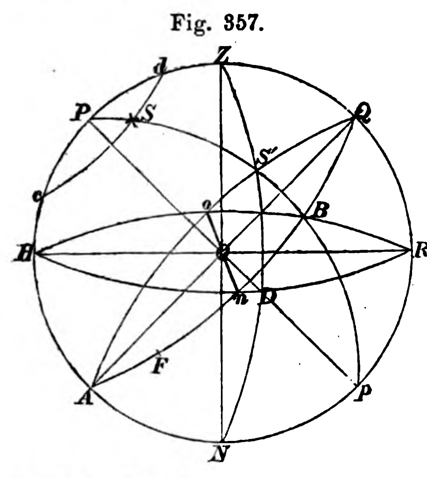
$$r = R \cdot \frac{\varsigma}{\alpha} \ldots (3) \ldots \text{d. h.?}$$

Aufgaben. 1. Wie gross ist die Entfernung der Sonne von der Erde, wenn $R = 859$ geogr. M., die Horizontalparallaxe der Sonne 8''·6 und die Länge des Bogens von 1'' = 0·000004848?

2. Wie gross ist der Durchmesser des Mondes, wenn bei seiner Entfernung = 51,830 geogr. M. der scheinbare Durchmesser desselben 31′, 3″ beträgt?

§. 3. **Bestimmung der Lage eines Sternes bezüglich der Ebene des Horizontes und des Aequators.** Die Ebene des Himmels-Meridians *PZp* (Fig. 357) steht auf der Ebene des Horizontes senkrecht und durchschneidet sie in einer Geraden *HR*, die man Mittagslinie nennt. Der Ort *H* gibt den Nordpunkt, der Ort *R* den Südpunkt am Horizonte an. Die Meridianebene steht ferner senkrecht auf der Ebene des Aequators *AQ*, daher ist auch die Durchschnittslinie *on* der Ebene des Aequators und des Horizontes auf der Meridianebene senkrecht, mithin auch senkrecht auf der Mittagslinie, und bestimmt den Ost- und Westpunkt am Horizonte.

Fig. 357.



Die Himmelskugel wird durch die Ebene des Aequators in eine nördliche und südliche und durch die Ebene des Meridians in eine östliche und westliche Hemisphäre getheilt. Der Aequator und der Horizont halbiren sich als grösste Kreise, so dass die eine Hälfte des Aequators über, die andere unter dem Horizonte liegt.

a) Lage des Sternes bezüglich des Horizontes. Jener Kreis, der durch ein Gestirn *S′*, durch Zenith und Nadir gezogen wird, heisst Höhenkreis oder Verticalkreis *ZS′N*. Der Bogen des Höhenkreises, der zwischen dem Sterne und dem Horizonte liegt, heisst die Höhe *DS′*, seine Ergänzung zu 90° nämlich *ZS′* die Zenithdistanz und der Bogen *DR* zwischen dem Südpunkte und dem Höhenkreise, von Süd gegen West gemessen, das Azimuth des Sternes. — Sämmtliche Bögen werden durch die entsprechenden Centriwinkel gemessen.

Höhe und Azimuth oder Zenithdistanz und Azimuth bestimmen die Lage eines Sternes am Himmelsgewölbe bezüglich der Ebene des Horizontes.

b) Lage des Sternes bezüglich des Aequators. Der Bogen des Meridians zwischen dem Himmelspole und dem Horizonte heisst Polhöhe PH des Beobachtungsortes und sein complementärer Bogen $AH = QR$ Aequatorshöhe. — Jener Kreis, der durch das Gestirn und die beiden Pole gezogen wird, steht auf der Ebene des Aequators senkrecht und heisst Abweichungs- oder Declinationskreis, auch Stundenkreis; der Bogen BS dieses Kreises zwischen dem Sterne und dem Aequator heisst die Declination, und seine Ergänzung zu 90° der Bogen PS die Poldistanz, und der Bogen FB des Aequators zwischen dem Declinationskreise und dem Frühlingspunkte F, d. i. demjenigen Punkte des Aequators, wo sich die Sonne zur Zeit der Frühlingsnachtgleiche befindet, heisst die gerade Aufsteigung oder Rectascension des Sternes S. Die Declination wird vom Aequator gegen die Pole bis 90°, die Rectascension am Aequator von West nach Ost bis 360° gezählt; die Declination ist entweder nördlich oder südlich.

Durch die Declination und Rectascension ist die Lage eines Sternes bezüglich der Ebene des Aequators am Himmelsgewölbe vollkommen bestimmt.

c) Auffindung der Bestimmungsstücke der Lage des Sternes. Um zunächst die Lage der Ebene des Aequators zu erfahren, muss man die Polhöhe $PH = 90^0 - QR$ bestimmen, denn daraus hat man die gesuchte Aequatorshöhe $QR = 90 - PH$. Zur Bestimmung der Polhöhe dient die obere und untere Culmination eines Circumpolarsternes, z. B. desjenigen, der sich in dem Parallelkreise cd bewegt. Einen Circumpolarstern sieht man während eines Umlaufes zweimal im Meridian in c und d, und zwar ist d seine obere, c seine untere Culmination. Die Polhöhe ist aber

$$HP = Hc + cP = Hc + \frac{cd}{2} = \frac{2Hc + cd}{2} = \frac{Hc + Hd}{2},$$

d.h. die Polhöhe des Beobachtungsortes ist gleich der halben Summe der obern und untern Culminationshöhe des Circumpolarsternes.

Um die Declination eines Sternes S zu finden, genügt es die Poldistanz PS zu bemessen, denn es ist die Declination $BS = 90^0 - PS$.

Die Rectascension wird mittelst einer nach Sternzeit eingerichteten Uhr bestimmt. In der Sternzeit ist die Zeit

von einer Culmination eines Fixsternes bis zur nächstfolgenden ein Sterntag, der auch in 24 Stunden, jede Stunde in 60 Minuten und die Minute in 60 Secunden eingetheilt wird. Der Anfang des Sterntages ist der Augenblick der Culmination des Frühlingspunktes F (d. i. jener Fixstern, mit welchem die Sonne am 21. März zugleich culminirt) und der Sterntag die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Culminationen des Frühlingspunktes; in dieser Zeit vollendet der Stundenzeiger einer darnach eingerichteteten Uhr einen vollen Umlauf.

Jeder Fixstern beschreibt in gleichförmiger Bewegung innerhalb 24 Stunden Sternzeit einen Kreis von 360^0, mithin in einer Stunde 15^0, und in einer Zeitsecunde 15 Raumsecunden; culminirt also ein Fixstern 1, 2, 3 . . . t Secunden später als der Frühlingspunkt, so liegt er 15, 30, 45 . . . 15 . t Raumsecunden östlich von ihm, d. h. der Bogen des Aequators zwischen F und dem Declinationskreise des Sternes oder die Rectascension beträgt 15 . t Bogensecunden für den Stern, der t Secunden Sternzeit nach dem Frühlingspunkte culminirt.

Die Auffindung der Bestimmungsstücke der Lage eines Gestirnes am Himmel erfordert die Anwendung von Winkelmaass-Instrumenten. So werden Höhe und Azimuth mittelst des Theodolithen, die Culmination mittelst des Mittagsrohres oder Passagen-Instrumentes, die Winkeldistanz zweier Gestirne mittelst des Sextanten von Hadley, und die Declination und selbst die Rectascension mittelst sogenannter Aequatoriale gemessen.

§. 4. **Geographische Breite und Länge eines Ortes an der Oberfläche.** Der zwischen dem Aequator und dem Orte M (siehe Fig. 355) liegende Bogen Mq des Meridians heisst die geographische Breite des Ortes M. Der dem Bogen Mq entsprechende Centriwinkel MOq ist aber gleich dem Centriwinkel POH, der die Polhöhe HP angibt. Die geographische Breite eines Ortes ist also gleich seiner Polhöhe. Die Breite wird vom Aequator gegen die Pole hin bis 90^0 gezählt, und in der nördlichen Halbkugel nördliche, in der südlichen südliche Breite genannt.

Zur Bestimmung der Lage eines Ortes auf der Erdoberfläche ist aber ausser der geographischen Breite auch noch eine zweite

Angabe, welche die Lage des Meridians bestimmt, also der Bogen des Aequators nöthig, der zwischen dem Meridiane des Ortes und einem bestimmten Meridiane, den man als ersten Meridian annimmt, liegt und geographische Länge heisst. Als ersten Meridian nimmt man gewöhnlich den durch die Insel Ferro gehenden; in Frankreich und häufig auch in Deutschland den Meridian der Sternwarte zu Paris, und in England jenen der Sternwarte zu Greenwich. — Der erste Meridian theilt die Erdkugel in eine östliche und westliche Erdhälfte, weshalb man eine östliche und westliche Länge unterscheidet.

Zur Bestimmung der geographischen Länge dient die örtliche Zeit, d. i. die Zeit, die eine nach dem Mittage oder der obern Culmination der Sonne regulirte Uhr des Ortes anzeigt. Gelangt nun die Sonne in t Secunden von dem ersten Meridiane in den Meridian des Ortes, so zählt der Bogen zwischen diesen beiden Meridianen 15 t Raumsecunden, und das ist die geographische Länge, da sämmtliche zwischen zwei Meridianen liegende Bogen der Parallelkreise dieselbe Anzahl von Graden, Minuten und Secunden haben.

Der Zeitunterschied t wird mittelst der Chronometer ermittelt. Zeigt das Chronometer die örtliche Zeit, z. B. von Greenwich an, und lässt man es so fortgehen, so weiss man immer die örtliche Zeit von Greenwich; vergleicht man diese mit der regulirten Uhr eines andern Ortes, zu dem man gelangt ist, so gibt der Unterschied der Uhrangaben die gesuchte Zeit t.

Ist überhaupt t der Unterschied der örtlichen Zeit zweier Orte, so ist 15 t der Längenunterschied derselben. — Den Unterschied der örtlichen Zeiten findet man auch, wenn man eine an beiden Orten gleichzeitig sichtbare Erscheinung, z. B. Feuersignale, die Verfinsterung eines Jupiter-Trabanten beobachtet, und die von den Uhren in dem nämlichen Augenblicke angezeigten Zeiten mit einander vergleicht.

§. 5. **Scheinbare tägliche und jährliche Bewegung der Sonne.** Die Sonne scheint sich mit dem ganzen Sternenhimmel täglich einmal um die Weltaxe umzudrehen. Diese Erscheinung ist eine Folge der durch den Foucault'schen Pendelversuch direct nachgewiesenen Axendrehung der Erde und der optischen Täuschung. Die Umdrehung der Erde um ihre Axe wird, abgesehen

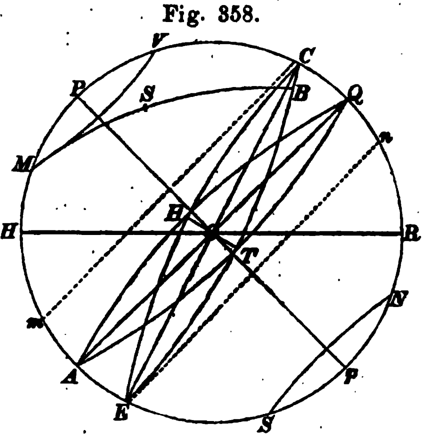
vom Foucault'schen Pendelversuche, schon durch die Thatsache der Abplattung der Erde an den Polen und der Abnahme der Wirkung der Schwerkraft von den Polen gegen den Aequator hin ausser Zweifel gesetzt. — In Folge der Axendrehung der Erde von West nach Ost senkt sich der Horizont des Beobachters im Osten und erhebt sich im Westen, deshalb werden im Osten nach und nach neue Gestirne sichtbar, während andere im Westen unter den sich dort hebenden Horizont gelangen und dadurch unsichtbar werden, als würden sie sich nach West herumdrehen.

Ausser der täglichen scheinbaren Bewegung bemerkt man an der Sonne noch eine andere Bewegung, die während eines Jahres ihren Umlauf am Himmel vollendet. Denn wir sehen die Sonne täglich in einem andern Parallelkreise mit andern Sternen aufgehen, culminiren und untergehen. Sie rückt z. B. vom Frühlingspunkte, d. i. vom 21. März an nicht nur täglich mehr und mehr gegen Norden, sondern zu gleicher Zeit auch weiter gegen Osten, d. h. ihre Declination und Rectascension nehmen zu. Während aber die Rectascension im Laufe des Jahres fortwährend wächst, nimmt die Declination vom 21. Juni an, wo sie den grössten Werth von 23° 28′ erlangt, wieder ab, wird am 22. September Null, dann südlich, wo sie abermals am 22. December ihren grössten Werth von 23° 28′ erreicht, dann abnimmt bis zum Frühlingspunkte, wo sie Null wird, während die Rectascension 360° beträgt. — Aus der täglich bei der obern Culmination gemachten Bestimmung der Declination und Rectascension, so wie aus Beobachtungen des veränderlichen Sonnendurchmessers hat man die Bahn genau bestimmt und gefunden, dass sie eine Ellipse von sehr geringer Excentricität ist, deren Ebene gegen die Ebene des Aequators um 23° 28′ geneigt ist. Man nennt diese scheinbare Sonnenbahn die Ekliptik und ihre Neigung gegen die Aequatorebene die Schiefe der Ekliptik.

Da die Ekliptik *CE* den Aequator zweimal und zwar diametral gegenüber in *T* und *H* (Fig. 358) schneidet, so befindet sich die Sonne an zwei um ein halbes Jahr von einander abstehenden Tagen im Aequator und vollendet ihre tägliche Bahn in demselben. Da aber, wie man aus Fig. 357 ersieht, die eine Hälfte des Aequators über, die andere unter dem Horizonte liegt, so ist an diesen Tagen der Tag gleich der Nacht; deshalb nennt man

diese Durchschnittspunkte Nachtgleichenpunkte oder Aequinoctialpunkte, und den Punkt vom 21. März den Frühlings-Nachtgleichenpunkt, oder kurz Frühlingspunkt *T*, jenen vom 22. September aber Herbst-Nachtgleichenpunkt oder Herbstpunkt *H*. Der Parallelkreis *Cm* der grössten nördlichen Declination heisst Wendekreis des Krebses, und *C* heisst Wendepunkt oder Sommersolstitium. Der Parallelkreis *En* der grössten südlichen Declination heisst Wendekreis des Steinbocks und *E* Wintersolstitium.

Fig. 358.



Die durch die Pole *M* und *N* der Ekliptik gezogenen Parallelkreise *MV* und *NS* heissen Polarkreise. — Die Declinationskreise, welche durch die Solstitial- und Aequinoctialpunkte gehen, haben den Namen Coluren.

Die Ekliptik theilt man in zwölf gleiche Theile zu je 30 Graden und nennt diese Theile Zeichen. Jene Zone, die von zwei zur Ekliptik parallelen, je in einem Abstande von 10° gezogenen Kreisen begrenzt ist, heisst Zodiakus oder Thierkreis, weil die Sternbilder, nach denen die Zeichen in alten Zeiten benannt waren, meistens Namen von Thieren führen. Die Sternbilder der Alten vom Frühlingspunkte an sind: Widder ♈, Stier ♉, Zwillinge ♊, Krebs ♋, Löwe ♌, Jungfrau ♍, Wage ♎, Skorpion ♏, Schütze ♐, Steinbock ♑, Wassermann ♒, Fische ♓. Man pflegt zu sagen, die Sonne tritt in das Zeichen des Widders, wenn sie in den Frühlingspunkt tritt; in der Wirklichkeit aber erscheint sie fast einen Monat später im Sternbilde des Widders.

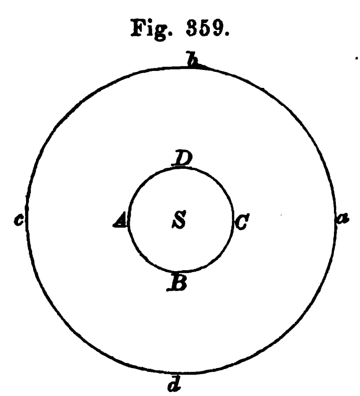
Die Lage der Gestirne, besonders der Planeten, wird auch bezüglich der Ekliptik bestimmt. Der durch die Pole der Ekliptik und durch ein Gestirn gezogene Kreis *MSB* heisst Breitenkreis, der Bogen *BS* zwischen dem Stern und der Ekliptik heisst die Breite, und der Bogen der Ekliptik zwischen dem Früh-

lingspunkte und dem Breitenkreise die Länge des Gestirnes. Durch Länge und Breite ist die Lage eines Gestirnes bezüglich der Ekliptik vollkommen bestimmt. — Haben zwei Himmelskörper dieselbe Länge, so sagt man, sie stehen in Conjunction; sind ihre Längen aber um 180° verschieden, so stehen sie in Opposition; in beiden Fällen befinden sie sich in demselben Breitenkreise. Haben die Längen zweier Gestirne einen Unterschied von 90°, so stehen sie in der Quadratur.

Die Dauer eines scheinbaren Umlaufes der Sonne, d. i. die Zeit zwischen zwei Culminationen mit einem und demselben Fixsterne, nennt man das siederische Jahr, es zählt 365 Tage, 6 Stunden, 9′ 11·2″. Die Zeit vom Eintritte der Sonne in den Frühlingspunkt bis zu ihrer Rückkehr zu demselben Punkte heisst das tropische Jahr, welches in Folge einer kleinen Vorrückung des Frühlingspunktes gegen Westen etwas kürzer ist und 365 Tage, 5 Stunden, 48′ und 50·4″ beträgt.

Aus dem Wachsen der Rectascension der Sonne, das in zwölf Monaten 360° beträgt, erklärt sich die monatliche Aenderung in der Stellung der Himmelskugel, die offenbar 360° : 12 = 30° beträgt, was einer Zeitdauer von zwei Stunden gleichkommt, d. h. Sterne, die an einem Tage um Mitternacht culminiren, treten nach einem Monate schon um 10 Uhr, nach zwei Monaten um 8 Uhr (Sonnenzeit) etc. in ihren Culminationspunkt.

Fig. 359.



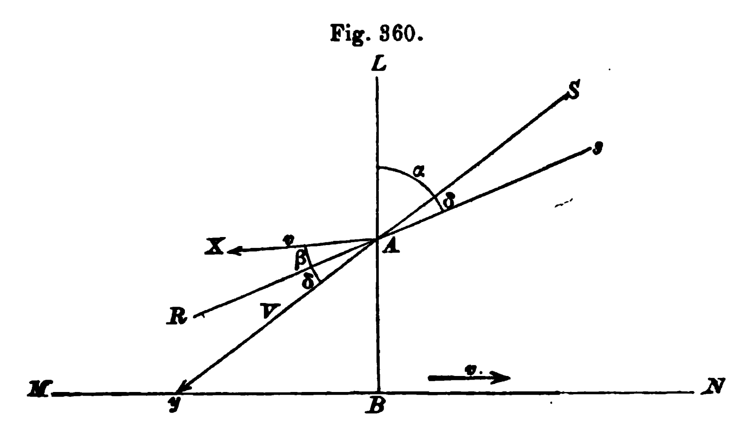
§. 6. Bewegung der Erde um die Sonne. So wie die tägliche, so ist auch die jährliche Bewegung der Sonne nur eine scheinbare, die in der Bewegung der Erde um die Sonne ihren Grund hat. Befindet sich z. B. die Erde in A (Fig. 359), so sieht man die Sonne in der Richtung AS im Punkte a am Himmel; während die Erde von Ost nach West, z. B. von A nach B sich bewegt, scheint uns die Sonne am Himmel den Bogen ab von West gegen Ost zu beschreiben etc.

Die Aberration des Lichtes gibt einen directen Beweis für die Bewegung der Erde um die Sonne. Die Aberration

besteht darin, dass alle Fixsterne um ihre Ortslage sich zu bewegen scheinen, wobei die an den Polen der Ekliptik befindlichen Sterne nahezu Kreise vom Halbmesser = 20″.44 beschreiben, deren Mittelpunkte die eigentlichen Orte der Sterne am Himmelsgewölbe sind; die Bahnen der von den Polen der Ekliptik entfernten Sterne sind Ellipsen, deren halbe grosse Axen einander gleich sind und 20″.44 betragen, die kleinen Axen aber desto kleiner erscheinen, je näher sie an der Ekliptik stehen, und die in der Ebene der Ekliptik liegenden nur gerade Linien von 40″.88 beschreiben. Die Ebenen dieser Bahnen sind sämmtlich parallel zur Ebene der Ekliptik und die Umlaufszeit ist genau gleich der Länge eines Jahres. Bradley, der Entdecker dieser Erscheigung, zeigte, dass diese scheinbaren Bahnen als Abbilder der von der Erde beschriebenen Bahn zu betrachten sind, und erkannte, dass die Ursache derselben in der Bewegung der Erde um die Sonne und in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes liege.

Die Erklärung der Aberration des Lichtes ergibt sich aus der Berücksichtigung der Bewegung der Erde und des Lichtes im Weltraume, und aus der optischen Täuschung. Nehmen wir an, die Erde bewege sich in der Richtung MN (Fig. 360) mit der Geschwindigkeit v und es gelange ein Lichtstrahl mit der Ge-

Fig. 360.



schwindigkeit V vom Sterne S in das Auge A, und berücksichtigen, dass in Folge der optischen Täuschung das Ergebniss der erwähnten Geschwindigkeiten dasselbe sein muss, als wenn die

Erde in B ruhig stehen und der Lichtstrahl bei A in entgegengesetzter Richtung Ax, senkrecht auf BL, sich mit derselben Geschwindigkeit v bewegen würde. Ziehen wir die aus den Componenten v in der Richtung Ax und V in der Richtung Ay sich ergebende Resultirende R, so erhalten wir nach dem Gesetze der Zusammensetzung der Kräfte oder der Geschwindigkeiten

$$V : v = \sin \beta : \sin \delta.$$

Nun ist aber $\beta = 90 - (\alpha + \delta)$, also $\sin \beta = \cos (\alpha + \delta)$, mithin

$$V : v = \cos (\alpha + \delta) : \sin \delta,$$

daraus

$$\operatorname{tang} . \delta = \frac{\cos \alpha}{\frac{V}{v} + \sin \alpha} \ldots (1).$$

Der resultirende Eindruck auf das Auge geschieht nun derart, als käme der Lichtstrahl in der Richtung der Resultirenden her vom Punkte s, wo man den Fixstern, dessen wahrer Ort S ist, sieht. Den Winkel $\delta = SAs$ nennt man Aberrationswinkel. — Die Gleichung (*1*) macht ersichtlich, dass die Aberration des Lichtes den grössten Werth erlangt, wenn $\alpha = o$ ist, d. h. wenn die Lichtsrahlen senkrecht auf die Erdbahn auffallen, aber dort am kleinsten wird, wo $\alpha = 90^0$ ist.

Für $\alpha = o$ hat man $\operatorname{tang} . \delta = \frac{v}{V}$; da der Aberrationswinkel sehr klein ist, so kann man anstatt der Tangente den Bogen setzen, und erhält, wenn δ Secunden bedeutet:

$$\delta . arc . 1'' = \frac{v}{V}, \text{ und da } arc . 1'' = 0{\cdot}0000048, \text{ so ist}$$

$$\delta = \frac{v}{0{\cdot}0000048\ V} = \frac{4{\cdot}113}{41940 \times 0{\cdot}0000048} = 20''{\cdot}4451.$$

Ist also der Fixstern am Pole der Ekliptik, so muss er während eines Umlaufes der Erde einen Kreis $= 2 \times 20''{\cdot}445\ 1 . \pi$ beschreiben. Denken wir uns, dieser Kreis entferne sich mehr und mehr vom Pole der Ekliptik, wobei aber seine Ebene mit der Ebene der Erdbahn parallel bleibt, so werden wir die Erscheinung einer perspectivischen Ansicht, d. i. eine Ellipse haben, woraus es ersichtlich ist, dass der eine Durchmesser mehr und mehr abnimmt und endlich ganz verschwindet, wenn der Kreis in der Ebene der Erdbahn anlangt, während der auf den verschwundenen

senkrechte Durchmesser derselbe bleibt, und nahezu $2 \cdot r = 2 \times 20''\cdot44 = 40''\cdot88$ beträgt.

Die Aberrationsellipse ist demnach ein Abbild der Erdbahn; diese ist eine Ellipse, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht, so dass am 31. December die Erde der Sonne am nächsten oder, wie man sagt, im Perihelium steht, das andere Mal, am 3. Juli, am weitesten von ihr absteht im sogenannten Aphelium. Die Verbindungslinie des Perihelium mit dem Aphelium heisst Apsidenlinie; diese bildet die grosse Axe der Ellipse.

§. 7. **Jahr, Verschiedenheit der Dauer des Tages und der Nacht während eines Jahres und Wechsel der Jahreszeiten.** a) Die tropische Umlaufszeit umfasst den periodischen Wechsel der Jahreszeiten, und wird daher als Einheit für grosse Zeiträume genommen und Jahr genannt.

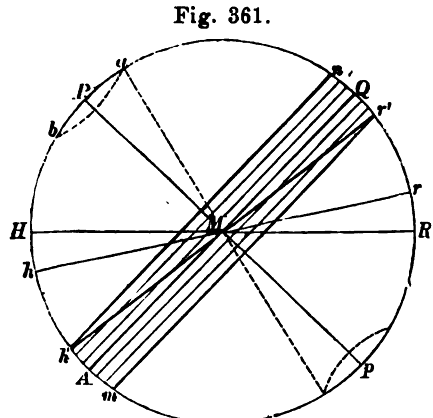
Zu den Zeiten Julius Cäsars zählte man das Jahr zu 365 Tagen und 6 Stunden; letztere vernachlässigte man aber jährlich und rechnete jedes vierte Jahr zu 366 Tagen, und nannte es Schaltjahr. Nach Julius Cäsar, der diese Zeitrechnung als Verbesserung der frühern eingeführt hatte, nennt man sie die Julianische. Da man aber in dieser Zeitrechnung das Jahr um 11′ 9″ 9 zu lang annahm, so beging man einen Fehler, der in 400 Jahren 3 Tage ausmacht, um die man hinter der wahren tropischen Zeit zurückbleibt. Dieser Fehler betrug im Jahre 1582 schon 10 Tage, daher verordnete Papst Gregor XIII., dass man 10 Tage allsogleich übergehe, dass jedes Jahr, das durch 4 theilbar, aber durch 100 untheilbar, ferner auch, dass durch 400 theilbare ein Schaltjahr, jedes andere aber ein gemeines Jahr sein soll. Die Differenz zwischen dem Gregorianischen und dem tropischen Jahre beträgt erst in 4000 Jahren einen Tag, daher das Schlussjahr eines jeden vierten Jahrtausendes ein Schaltjahr sein wird. — Die Julianische Zeitrechnung des griechischen Ritus ist bereits 12 Tage hinter der Gregorianischen zurück.

b) Die Ursache der verschiedenen Tagesdauer an verschiedenen Orten zur nämlichen Zeit und an demselben Orte bei verschiedenen Declinationen der Sonne liegt, so wie die Ursache des Wechsels der Jahreszeiten, in der Schiefe der Ekliptik. Die Rotationsaxe behält nämlich, wie dies aus den Gesetzen der Mechanik folgt, während eines Jahres dieselbe Neigung zur Ebene der Ekliptik.

1. Betrachten wir einen Ort in der nördlichen Erdhälfte, dessen Horizont HR (Fig. 361) ist, so sehen wir aus der Figur, dass die Länge der über dem Horizonte liegenden Parallelkreise,

welche die Sonne bei den täglichen Umdrehungen des Himmelsgewölbes beschreibt, von der grössten südlichen Declination $r'm$ bis zur grössten nördlichen Declination $h'n$ zunimmt. Die über dem Horizonte liegenden Bogen sind Tagesbogen, die unter dem Horizonte liegenden Nachtbogen. Man sieht, dass während der nördlichen Declination die Tagesbogen, folglich die Tage selbst länger sind als die Nächte, während der südlichen aber gerade das Umgekehrte stattfindet. Der Unterschied in der Dauer des Tages und der Nacht wird an demselben Orte desto grösser, je mehr sich die Declination der Sonne ändert.

Fig. 361.



An einem andern Orte von grösserer geographischer Breite, dessen Horizont hr ist, wird, wie Figur zeigt, die Länge der Tagesbogen während der nördlichen Declination grösser, die der südlichen hingegen kleiner als an einem Orte von kleinerer geographischer Breite. Demnach wird die Dauer des längsten Tages und der längsten Nacht desto grösser, je weiter der Ort vom Aequator entfernt ist.

Berücksichtigt man, dass die Sonne immer die Hälfte der Erdkugel beleuchtet, so sieht man leicht ein, dass wenn die Sonne im Aequator steht, die Erde von Nord bis Süd beleuchtet ist. Nimmt aber die nördliche Declination um einige Grade zu, so rückt die Beleuchtung um ebenso viele Grade über den Nordpol hinaus, während ein gleicher Theil vom Südpol unbeleuchtet bleibt. Hat die Sonne ihre grösste nördliche Declination von 23° 28′ erreicht, so reicht im Norden die Beleuchtung um 23° 28′ über den Nordpol hinaus, während der ganze Südpol bis zu dieser Breite in Dunkelheit ist. An diesem Tage geht die Sonne am nördlichen Polarkreise nicht unter, und am südlichen nicht auf, dort dauert der Tag, hier die Nacht 24 Stunden. Zu dieser Zeit ist der Südpol bereits $^1/_4$ Jahr in Dunkelheit und der Nord-

pol $^1/_4$ Jahr in der Beleuchtung, und es vergeht noch $^1/_4$ Jahr, bevor die Sonne in den Aequator zurückkehrt, und über denselben hinauskommend dem Südpol den Tag, dem Nordpol die Nacht bringt.

Für Orte am Aequator hat der Horizont die Lage der Erdaxe *Pp*, daher halbirt er immer die Parallelkreise, und Tag und Nacht sind das ganze Jahr hindurch gleich.

2. Die Aenderungen in der Mittagshöhe der Sonne und der Tageslänge, die im Laufe eines Jahres an jedem Orte auftreten, sind Ursache des Wechsels der daselbst herrschenden Temperatur, folglich auch der Jahreszeiten.

Jener Erdgürtel, der sich zu beiden Seiten des Aequators um 23° 28′ gegen Norden wie gegen Süden hin erstreck, enthält Orte, in deren Zenith die Sonne zweimal des Jahres eintritt. Die Grenzlinien dieser Orte bilden jene zwei Parallelkreise, die zu beiden Seiten des Aequators um 23° 28′ von demselben entfernt sind; man nennt sie **Wendekreise**, und den von ihnen begrenzten Erdgürtel die **heisse Zone**. — Jene Parallelkreise, die um 23° 28′ von den beiden Polen entfernt sind, und an denen, wie gezeigt, die längste Nacht und der längste Tag 24 Stunden dauern, nennt man **Polarkreise**. Die zwei Erdgürtel zwischen den Polarkreisen und den Polen heissen die **kalten Zonen**. In diesen Zonen wirkt die Sonne ungeachtet der mehrwöchentlichen und mehrmonatlichen Gegenwart nur wenig erwärmend, weil bei der geringen Mittagshöhe die Strahlen in sehr schiefen Richtungen auffallen. — Die zwei Erdgürtel zwischen den Wende- und Polarkreisen werden die **gemässigten Zonen** genannt.

Die jährlichen Aenderungen in der Mittagshöhe und in der Tageslänge, mithin auch die Aenderungen der Temperatur sind desto beträchtlicher, je grösser die geographische Breite eines Ortes der gemässigten Zonen ist. Man unterscheidet in diesen Zonen vier Jahreszeiten, den Frühling, Sommer, Herbst und Winter; in Gegenden, die der heissen Zone näher liegen, ist der Winter, in den an die Polargegenden angrenzenden der Sommer von kurzer Dauer. In der heissen Zone unterscheidet man blos zwei Jahreszeiten: die **trockene**, heisse Jahreszeit und die **Regenzeit**, die sich einstellt, wenn sich die Sonne dem Zenithe nähert.

§. 8. **Zeitbestimmung: wahre und mittlere Zeit, Zeitgleichung.** Die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen der Sonne durch den Meridian wird Tag genannt. Die scheinbare Bewegung der Sonne geht in der Ekliptik von West nach Ost vor sich; culminirt daher die Sonne an einem Tage mit einem bestimmten Fixsterne, so wird sie den andern Tag um so viel später als der Fixstern culminiren, als der von ihr zurückgelegte Bogen Zeit braucht, um durch den Meridian zu gehen. Der Sonnentag ist somit länger als der Sterntag und bleibt sich im Laufe des Jahres nicht immer gleich, sondern seine Dauer ändert sich, wie sich der von der Sonne täglich zurückgelegte Bogen wegen der ungleichförmigen Bewegung in der Ekliptik ändert. Da sich die Geschwindigkeiten bei einer Centralbewegung verkehrt wie die Abstände des Beweglichen vom Centralkörper verhalten, so wird sich die Bogen- und mit ihr die Tageslänge fortwährend ändern, weil der Abstand sich fortwährend ändert, und zwar werden im Winter die täglichen Bogen grösser als im Sommer, und mit ihnen der Sonnentag.

Um die Ungleichheiten in der Dauer des Sonnentages zu vermeiden und so die Zeit durch regelmässig gehende Uhren anzeigen zu können, nimmt man eine sogenannte mittlere Sonne an, die gleichzeitig mit der wahren Sonne den Frühlingspunkt verlässt und gleichzeitig dahin zurückkehrt, die sich aber im Aequator gleichförmig bewegt, weshalb ihr Tag eine unveränderliche, zur Maasseinheit der bürgerlichen Zeitrechnung geeignete Grösse ist. Die Zeit, welcher der mittlere Sonnentag als Einheit zu Grunde liegt, heisst mittlere Zeit, zum Unterschiede von der wahren Zeit, die sich nach der scheinbaren Bewegung der wahren Sonne richtet. Unsere gewöhnlichen gleichförmig gehenden Uhren, die man auf 12 oder 0 Uhr richtet, wenn die mittlere Sonne culminirt, geben die mittlere, die Sonnenuhren aber die wahre Zeit an.

Den Unterschied zwischen der wahren und mittlern Zeit nennt man die Zeitgleichung. Viermal im Jahre ist die Zeitgleichung Null, am 24. December, 15. April, 15. Juni und 31. August. Der grösste Unterschied zwischen der wahren und mittlern Zeit beträgt am 11. Februar $14^1/_2$ Minuten, am 2. November $16^1/_2$ Minuten. Kennt man die Zeitgleichung, die man entweder

aus astronomischen Ephemeriden oder aus einem Kalender entnimmt, und ermittelt den wahren Mittag mittelst einer Sonnenuhr oder einer Mittagslinie, so kann man die Zeit des mittlern Mittags richtig bestimmen und die gewöhnlichen Uhren darnach reguliren. Die Sternwarten pflegen den mittlern Mittag durch Glockenschläge täglich anzugeben.

Rücksichtlich der Zeitbestimmung durch die grössere Zeiteinheit, das Jahr, wurde bereits erwähnt, dass das tropische Jahr etwas kürzer sei als das siderische. Der Grund davon liegt in dem Vorrücken des Frühlingspunktes gegen Westen, das man Präcession nennt. Die Präcession beträgt durchschnittlich in einem Jahre nur 50''·2, mithin durchwandert der Frühlingspunkt in 25,920 Jahren die ganze Ekliptik. Die Präcession hat zur Folge, dass sich die Länge der Gestirne jährlich ändert, während die Breite ungeändert bleibt. — Die Präcession oder das Vorrücken des Frühlingspunktes entsteht dadurch, dass sich der Pol des Aequators um den Pol der Ekliptik gleichförmig dreht, so dass er jährlich einen Bogen von 50''·2 und in 25,920 Jahren einen ganzen Umlauf beschreibt. Die jährliche Bewegung geht jedoch so langsam vor sich, dass man die Stellungen der Erdaxe während der jährlichen Bewegung um die Sonne an allen Stellen der Erdbahn als unter sich parallel annehmen kann.

Die Ursache der Präcession wurde in der Dynamik erwähnt.

Der Pol des Aequators oder der Himmelspol bleibt aber nicht immer in der Peripherie des von der Präcession herrührenden Kreises, sondern er nähert sich und entfernt sich periodisch von dem Pole der Ekliptik, so dass er, falls keine Präcession vorhanden wäre, eine kleine Ellipse am Himmel beschreiben würde. Demnach ist die Erdaxe kleinen periodischen Schwankungen unterworfen, die man Nutation oder Wanken der Erdaxe nennt. Die Nutation erklärt sich aus der gleichzeitigen Anziehung, welche Sonne und Mond auf das um seine Axe rotirende Erdsphäroid äussern. Auch die Nutation bringt Aenderungen in der Länge, Rectascension und Declination mit sich.

§. 9. **Der Mond, Mondesphasen, Sonnen- und Mondesfinsternisse.** Die Bahn, in welcher sich der Mond bewegt, ist ebenfalls eine Ellipse, in deren einem Brennpunkte die Erde ist, sie schneidet die Ebene der Erdbahn unter einem Winkel von

beiläufig 5° in zwei gegenüber liegenden Punkten, Mondesknoten genannt. Die Mondesknoten gehen von Ost nach West zurück und beschreiben in fast 18·06 Jahren einen vollen Umlauf in der Ekliptik. Jener Knoten, durch den der Mond von der südlichen auf die nördliche Seite der Ekliptik übergeht, heisst der aufsteigende, der andere der niedersteigende Knoten, ihre Verbindung die Knotenlinie. — Der Mond legt täglich einen Weg von $13^1/_2{}^0$ in seiner Bahn in der Richtung von Ost nach West zurück und geht deshalb täglich bei 50′ später auf; sein mittlerer Abstand von der Erde beträgt 51,700 Meilen, also ungefähr 60 Erdhalbmesser. Das Volum des Mondes ist bei 50mal kleiner als das der Erde.

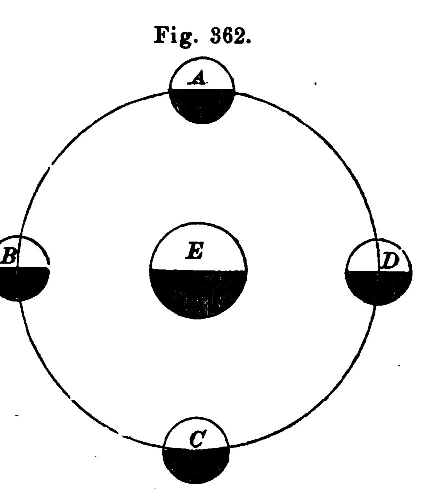
Der Umlauf des Mondes wird auf verschiedene Punkte bezogen, mit denen die Mondmonate ihre Länge wechseln. Der siderische Monat oder die siderische Umlaufszeit des Mondes beträgt 27·32166 Tage und umfasst den Zeitraum zwischen zwei auf einander folgenden gleichen Ständen des Mondes gegen einen Fixstern; der Drachenmonat = 27·21222 Tage, den Zeitraum zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen des Mondes durch denselben Knoten; der synodische Monat = 29 Tage, 12 Stunden, 44 Minuten, umfasst den Zeitraum zwischen zwei auf einander folgenden Conjunctionen oder Oppositionen des Mondes mit der Sonne. — Die Zeit von zwölf synodischen Monaten nennt man ein Mondjahr = 354 Tage, 8 Stunden, 48′ 36″. Dieses Mondjahr, gerechnet zu 355 Tagen, liegt der Zeitrechnung der Juden und Türken als Einheit zu Grunde.

Der Mond hat eine dreifache Bewegung, 1. eine rotirende um seine Axe, ihre Umlaufszeit ist der synodische Monat, 2. eine fortschreitende um die Erde, 3. eine fortschreitende mit der Erde zugleich um die Sonne, bezüglich welcher er eine Cykloidenbahn beschreibt.

1. Die Mondphasen oder der periodische Lichtwechsel, den wir am Monde beobachten, hängt mit der synodischen Umlaufszeit zusammen. Zur Zeit der Conjunction in *A* (Fig. 362) wendet er uns die unbeleuchtete Hälfte zu und ist unsichtbar, es ist Neumond. Dann entfernt sich der Mond östlich von der Sonne und wird nach dem Sonnenuntergange in der Gestalt einer schmalen

Sichel, deren convexe Seite der Sonne zugekehrt ist, am westlichen Himmel sichtbar. Der erleuchtete Theil nimmt zu und zur Zeit der Quadratur (im ersten Viertel) in *B* nach ungefähr 7·4 Tagen erscheint bereits die westliche Hälfte erleuchtet und der Mond bleibt bis Mitternacht über dem Horizonte. Die sichtbare Beleuchtung greift immer mehr um sich bis zur Opposition *C*, wo die ganze der Erde zugekehrte Mondesscheibe beleuchtet erscheint und wir Vollmond haben. Zu dieser Zeit leuchtet der Mond die ganze Nacht hindurch.

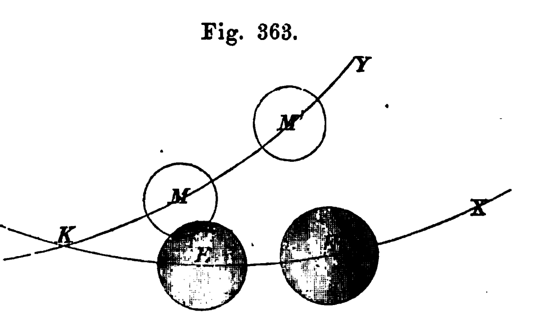
Fig. 362.



Nach dem Vollmond nimmt das Licht auf der westlichen Seite allmälig ab, in der zweiten Quadratur *D* (im zweiten Viertel) erscheint nur noch die östliche Hälfte der Mondscheibe erleuchtet; der Mond leuchtet in der zweiten Hälfte der Nacht.

2. Eine Sonnenfinsterniss besteht darin, dass gewisse Orte der Erdoberfläche vom Mondschatten getroffen werden; sie kann nur zur Zeit der Conjunction oder des Neumondes eintreten, und zwar dann, wenn der Mond nahe an oder in dem Knoten *K* (Fig. 363) selbst ist. Die Sonnenfinsterniss erscheint central, wenn die Mittelpunkte der Sonne und des Mondes, und der Standort des Beobachters auf der Erde in einer geraden Linie liegen, sonst ist sie partial, erstere ist entweder eine totale oder eine ringförmige. Der Mondschatten bewegt sich mit dem Monde von West nach Ost über die Erdoberfläche, daher werden Sonnen-

Fig. 363.



finsternisse in westlichen Gegenden früher sichtbar als in den östlichen.

Eine Mondesfinsterniss besteht in der Verdunklung des Mondes durch den Schatten der Erde zur Zeit des Vollmondes. Die Länge des Schattenkegels der Erde ist 3½mal grösser als der Abstand des Mondes von der Erde, daher würde der Mond, wenn seine Bahn sich in der Ebene der Ekliptik befände, bei jeder Opposition in den Erdschatten treten, in der That aber kann der Schatten den Mond nur dann treffen, wonn er nahe an oder in dem Knoten *K* (Fig. 363) ist, sonst geht er ausserhalb des Schattens vorüber. Die Mondesfinsterniss ist für alle Bewohner, über deren Horizont er steht, gleichzeitig sichtbar, aber die örtliche Zeit ist ungleich. — Auch die Mondesfinsternisse sind entweder total oder partial.

Da die Sonnen- und Mondesfinsternisse mit der Lage der Knotenlinie im nächsten Zusammenhange stehen, so folgt, dass nach Verlauf von achtzehn Jahren und zehn Tagen, wo die Knoten wieder ihre frühere Lage einnehmen, die Finsternisse wieder fast genau in derselben Ordnung auf einander folgen und in dieselben Tage fallen, wie im Verlaufe des frühern Zeitraumes von achtzehn Jahren und zehn Tagen.

In 18 Jahren zählt man 41 Sonnen- und 29 Mondesfinsternisse, jedoch sind die Sonnenfinsternisse nicht überall sichtbar. Die Grösse der partiellen Finsterniss gibt man in ekliptischen Zollen an, deren jeder $^1/_{12}$ des Durchmessers des verfinsterten Körpers beträgt.

Ein Zeitraum von 19 Mondesjahren, nahe gleich 235 synodischen Mondesumläufen, heisst Mondescykel, nach dessen Verlauf der Vollmond, Neumond und die Viertel genau auf dieselben Monatstage fallen. Der Sonnencyklus umfasst den Zeitraum von 28 Jahren, nach welchem die Wochentage wieder auf dieselben Monatstage fallen; die Zahl, welche angibt, das wievielte im Sonnencyklus ein gegebenes Jahr sei, heisst Sonnenzirkel. Die Zahl aber, welche angibt, das wievielte ein gegebenes Jahr im Mondescykel ist, heisst goldene Zahl. Die in Kalendern unter dem Namen Epakte vorkommende, mit römischen Ziffern bezeichnete Zahl gibt an, wie viel Tage am Neujahrstage seit dem letzten Neumonde im nächstvergangenen Jahre verflossen sind. Diese Zahl ist zur Berechnung des Osterfestes eingeführt worden, da dem Beschlusse des Conciliums zu Nicäa gemäss das Osterfest jedesmal auf den ersten Sonntag nach dem ersten Vollmonde fällt, der auf die Frühlingsnachtgleiche folgt. Fällt der Vollmond auf einen Sonn-

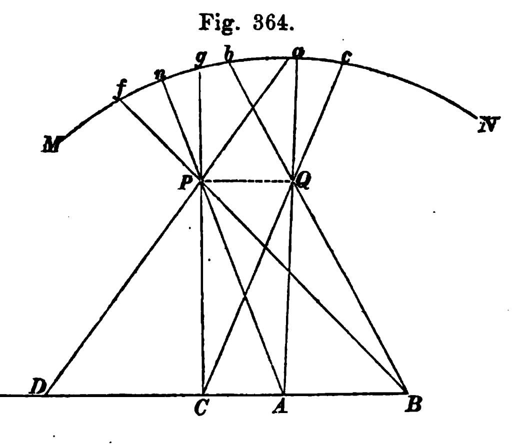
tag, so wird das Osterfest auf den nächstfolgenden Sonntag verlegt; dasselbe ist der Fall, wenn es mit dem ersten Ostertage der Juden zusammentreffen sollte.

§. 10. **Planeten.** Die Bewegung der Himmelskörper überhaupt, so wie die der Planeten, zu denen auch unsere Erde gehört, geht nach den bei der Centralbewegung angeführten Gesetzen vor sich.

In unserem Sonnensystem kennt man gegenwärtig bei 60 Planeten und 23 Nebenplaneten oder Monde nebst einer sehr grossen, aber unbestimmten Anzahl von Kometen. Die Planeten, welche der Sonne näher sind als die Erde, nennt man untere Planeten, dazu gehören: ein jüngst entdeckter Planet mit achttägiger Umlaufszeit, Mercur und Venus; alle andern heissen obere Planeten, von denen Mars, Jupiter, Saturn mit freiem Auge sichtbar sind und schon den alten Völkern bekannt waren. — Zwischen Mars und Jupiter befinden sich die Bahnen der erst in neuester Zeit entdeckten kleinern Planeten, Asteroiden genannt. Von den Asteroiden sind im August 1859 schon 54 bekannt gewesen. Nebenplaneten besitzen: die Erde 1, Jupiter 4, Uranus 8, Neptun 1 oder 2; Saturn ist von einem Ringe umgeben.

Obwohl sich die Planeten nach den Kepler'schen Gesetzen in regelmässigen Bahnen bewegen, so bringt doch der Umstand, dass die Erde und der Beobachter nicht im Mittelpunkte der Bahnen sind, und selbst in Bewegung sich befinden, zwei scheinbare Unregelmässigkeiten in den Planetenbewegungen mit sich, eine bekannt unter der Benennung: erste Ungleichheit betrifft die Geschwindigkeit, die andere zweite Ungleichheit aber die Richtung.

Fig. 364.



Vom heliocentrischen Standorte, d. i. von der Sonne angeschaut, würden diese Unregelmässigkeiten verschwinden.

Denken wir uns in A (Fig. 364) die Erde in Ruhe und in Q einen Planeten, der sich nach P bewegt. Man sieht von der Erde

aus Q zuerst bei a, endlich bei n am Himmel. Bewegen sich aber Erde und Planet gleichzeitig, so ist zu unterscheiden, ob die Bewegung in derselben oder in entgegengesetzter Richtung vor sich geht. Gehen beide in derselben Richtung vor sich, so sieht die Erde, in C angelangt, den nach P gekommenen Planeten nicht wie früher in n, sondern in g, also hat derselbe scheinbar einen um ng kleinern Bogen am Himmel zurückgelegt; bewegt sich aber die Erde in entgegengesetzter Richtung, so sieht man von B aus den Planeten in f ankommen, also hat derselbe den Bogen nf bei seinem Wege scheinbar gewonnen. — So erscheint die sonst gleichförmige Bewegung des Planeten bald verzögert, bald beschleunigt.

Ist aber die Erde während der Zeit, als Q nach P kam, nach D gekommen, so sieht man den Planeten wie von A aus wieder in a, und es hat den Anschein als ruhte er und man sagt, der Planet ist stationär. Und nun sieht man, dass wenn die Erde über D hinaus gekommen wäre, der Planet sich von a gegen c, also scheinbar gerade entgegengesetzt bewegt.

Da die Bahn des Planeten die West-Ost-Richtung hat, so scheint sich der Planet bald gegen Westen, bald gegen Osten zu bewegen, im ersten Falle sagt man, er ist rückläufig, im letztern rechtläufig. — Wegen einer kleinen Neigung der Planetenbahn gegen die Ekliptik erscheint der Weg während der rückläufigen Bewegung an andern Stellen des Himmelsgewölbes, so dass die Bahn an Orten, wo eine Aenderung der Richtung eintritt, die Gestalt einer Schlinge erhält.

Ausser den angeführten scheinbaren Unregelmässigkeiten hat aber die nach dem Gravitationsgesetze unter allen Planeten wechselseitig wirkende Anziehung eine wirkliche Abweichung von der rein elliptischen Bewegung zur Folge. Die so veranlassten Aenderungen in der Form und Lage der Bahnen nennt man Störungen oder Perturbationen und unterscheidet periodische und seculäre Störungen.

§. 11. **Kometen, Sternschnuppen und Feuerkugeln, Zodiakallicht.** 1. Viele Kometen erscheinen mit bewaffnetem Auge als runde dunstähnliche Massen, die gegen den Mittelpunkt (Kern) dichter, aber von solcher Feinheit sind, dass man durch sie die kleinsten Sterne, die sie bedecken, sehen kann; da bei der Bedeckung keine Refraction stattfindet, wie sie selbst ein Gas

hervorbringen muss, so schliesst man, dass die Kometenmasse nur ein staubähnliches Gefüge hat. Es hat nach astronomischen Berechnungen die Materie der Kometen eine so geringe mittlere Dichte, dass sie weit unter der des leichtesten irdischen Körpers, des Wasserstoffes, liegt. — Oefter beobachtet man in der Mitte einen runden glänzenden Kern, den Kopf des Kometen, und einen geraden oder krummen Schweif, der aus der Nebelhülle hervorgeht und gewöhnlich auf der von der Sonne abgewendeten Seite zu sehen ist.

Die Bahnen der Kometen sind Ellipsen von grosser Excentricität, deren Ebenen gegen die Ekliptik sehr stark geneigt sind. Einige haben eine genau ermittelte periodische Wiederkehr, z. B. der Komet von Halley, Olbers, Enke und Biela respective mit 76, 74, $3^{115}/_{365}$ und $6^{270}/_{365}$jähriger Umlaufszeit. Biela's Komet hat sich 1846 in zwei besondere Kometen getheilt, die sich immer mehr von einander entfernen. Viele Kometen haben eine mehrere tausendjährige Umlaufszeit, z. B. der schöne Komet von 1811 nach Argelander 3065 Jahre.

2. Auch eine Schaar kleiner Weltkörper ist uns dadurch bekannt geworden, dass ihre Bahnen die Erdbahn entweder schneiden oder ihr sehr nahe kommen und als Sternschnuppen oder als Feuerkugeln zur Erde fallen. Sie zeigen sich einzeln und in langen Zwischenräumen, sie ziehen aber auch periodisch zu vielen Tausenden mehrere Stunden lang am Himmel fort. Man kennt zwei solche periodische Schwärme, wovon der eine zwischen dem 12. und 14. November, der andere um den 10. August sichtbar wird; ersterer heisst das Novemberphänomen, letzterer der Laurentiusstrom.

Man ist der Ansicht, dass letztere Weltkörper einen geschlossenen Ring um die Sonne bilden, in welchem sie ungleich vertheilt sind, dass dieser Ring nach dem Gravitationsgesetze herumkreist und die Bahn der Erde in zwei Punkten schneidet, in deren Nähe das Zusammentreffen der grossen Gruppen mit der Erde stattfindet. Diese Weltkörper sind kosmischen, nicht terrestrischen Ursprungs, denn sie sind an Zeit- und Raumperioden gebunden, die in keiner Abhängigkeit stehen von den Erscheinungen auf der Erdoberfläche. Diese auf die Erde fallenden Körper nennt man Aërolithen oder Meteorsteine, — ihr vorherrschender Bestandtheil ist

Eisen, ihre andern Bestandtheile sind durchaus der Erde eigenthümlich.

3. Im Zodiakus erscheint uns um die Zeit der Nachtgleichen ein blasser Schimmer in der Gestalt einer schiefliegenden länglichen Ellipse, man nennt ihn das Zodiakallicht. Um die Zeit der Frühligsnachtgleiche bemerkt man dieses Licht bei völlig heiterer Atmosphäre nach dem Sonnenuntergange am westlichen, und um die Zeit der Herbstnachtgleiche vor dem Sonnenaufgange am östlichen Himmel. Man hält es für einen abgeplatteten Ring dunstartiger Materie, welcher zwischen der Bahn der Venus und des Mars rotirt.

§. 12. **Fixsterne.** Der Sternenhimmel verdankt seine Eigenthümlichkeit vorzugsweise solchen Gestirnen, die scheinbar zusammengehörige unzertrennliche Gruppen bilden und in der kurzen Zeit, in der sie von Menschen beobachtet werden, noch keine so bedeutende Ortsänderung bezüglich der Nachbarsterne erlitten haben, dass dadurch der Anblick des gestirnten Himmels ein anderer geworden wäre. Man nennt sie daher Fixsterne zum Unterschiede von den Wandersternen oder Planeten. Die Alten schon und selbst ungebildete Völker haben einzelne Sterngruppen besonders benannt, wie dies am Zodiakus ersichtlich ist, aber auch andere Sterngruppen kannte schon das Alterthum und kennt sie das Volk selbst unter verschiedenen Namen, so z. B. den grossen Bären oder die sieben Sterne des grossen Wagens, den Gürtel des Orion oder Jakobsstab, den Sirius, die Plejaden oder das Siebengestirn etc.

Nach der Stärke des Lichteindruckes theilt man die sichtbaren Sterne ein in Sterne erster, zweiter etc. Grösse bis zur sechsten Grösse, zu welcher die kleinsten mit freiem Auge sichtbaren Sterne gezählt werden. Weit zahlreicher aber sind die telescopischen Sterne, sie werden in zehn Klassen getheilt.

Die Erfindung des Fernrohres erweiterte unsern Blick in die endlose Schöpfung der Welten. Nach Argelander gibt es 5000 bis 5800 dem unbewaffneten Auge sichtbare Sterne; die Anzahl der telescopischen Sterne beträgt nach einer Schätzung über 148 Millionen.

Selbst die Milchstrasse, ein milchfarbiger Gürtel, der sich in Gestalt eines grössern Kreises über den Himmel erstreckt, löst sich, sobald sie durch ein vergrösserndes Telescop betrachtet wird, in eine Unzahl kleiner Sterne auf.

Die sogenannten Nebelflecke erscheinen an verschiedenen Stellen des klaren Himmelsgewölbes wie dünne weisse Wölkchen von mannigfaltigen Formen und Grössen. Viele derselben erscheinen, durch stark vergrössernde Telescope betrachtet, als Haufen von unzählig vielen kleinen Sternen; man nennt sie Sternhaufen. Bei andern beobachtet man kleine hellglänzende Sterne, deren jeder eine neblige Hülle hat, man nennt sie Nebelsterne. Nach den Beobachtungen von Lord Rosse, dessen Telescop mehrere Nebelsterne in Sternhaufen auflöste, wird es wahrscheinlich, dass selbst Nebelsterne nur dicht zusammengedrängte Sternhaufen sind.

Zwölfter Abschnitt.

Grundlehren der Meteorologie.

§. 1. **Begriff der Meteorologie.** Die in der Erd-Atmosphäre vorkommenden Erscheinungen werden Meteore oder Lufterscheinungen genannt. Die auffallendsten Veränderungen in dem Zustande der Atmosphäre pflegt man mit dem Namen Wetter oder Witterung zu bezeichnen. Die Meteorologie umfasst aber nicht nur die Witterungslehre, sondern die Meteore überhaupt, und sucht dieselben auf bekannte Gesetze der Physik zurückzuführen.

Zur Erkenntniss der Gesetze der Lufterscheinungen ist die Erforschung des ursachlichen Zusammenhanges derselben nothwendig. Die Erforschung dieses Zusammenhanges der Lufterscheinungen ist aber oft mit sehr vielen Schwierigkeiten verbunden, einerseits weil sich unsere Beobachtungen in der Regel nur in der nächsten Nähe der Erdoberfläche ausführen lassen, andererseits weil eine an unserm Beobachtungsorte auftretende Lufterscheinung gleichzeitig mehrere Ursachen, welche von entfernten Orten her wirken, ihre Entstehung verdankt. Diese Schwierigkeiten der Beobachtung können nur allmälig durch Anlegung von Beobachtungsstationen an allen Orten der Erd-

oberfläche unter den verschiedensten klimatischen Verhältnissen überwunden werden, daher denn die Erkenntniss des Zusammenhanges der meteorologischen Erscheinungen in mancher Beziehung erst zu erwarten steht.

§. 2. Ueber die Atmosphäre und ihre Bestandtheile.

a) Die obere Grenze der Atmosphäre findet dort statt, wo die Expansivkraft der Luft mit der Schwere derselben das Gleichgewicht hält. Da aber das Gesetz der Wärmeabnahme mit der Entfernung von der Erdoberfläche unbekannt ist, so ist es nicht möglich zu berechnen, in welcher Höhe dieses Gleichgewicht stattfindet; daher lässt sich auch über die Höhe der Atmosphäre nichts Zuverlässiges sagen.

Unter der Annahme, dass die Temperatur für gleiche Höhenunterschiede, wie die Glieder einer geometrischen Progression abnimmt, fand Schmidt die Höhe der Atmosphäre am Aequator 27·5 geographische Meilen. Unter Berücksichtigung der Strahlenbrechung fand man 10 geographische Meilen als die grösstmögliche Höhe der Atmosphäre. Man hätte also im verjüngten Maasse ein Bild für die Erde und ihre Atmosphäre, wenn man sich eine Kugel von einem Fuss Durchmesser denkt, welche von einer Atmosphäre umgeben ist, deren Dicke nicht einmal eine ganze Linie ausmacht.

Die Lufterscheinungen finden meistens in tiefer gelegenen Orten der Atmosphäre statt, insbesondere treten die aus Wasserdünsten hervorgehenden Meteore innerhalb der Höhe einer geographischen Meile über der Erdoberfläche auf.

b) Die Bestandtheile der Atmosphäre sind, abgesehen von dem daselbst in stets wechselnder Menge vorkommenden Wasserdunst, Sauerstoff und Stickstoff, dann eine geringe und veränderliche Menge von Kohlensäure und Ammoniakgas. Jene Stoffe, die ausserdem noch bei der Fäulniss von Pflanzen und Thieren u. s. w. in die Atmosphäre entweichen, werden als zufällige Beimengungen derselben angesehen. Sauerstoff und Stickstoff bilden den Hauptbestand der Luft und sind an allen Orten der Erdoberfläche in demselben Verhältnisse mit einander gemengt, so dass in 100 Raumtheilen 20·9 Raumtheile Sauerstoff und 79·1 Raumtheile Stickstoff enthalten sind.

Der Gehalt an Kohlensäure schwankt nach vielfältigen Untersuchungen in der freien Atmosphäre zwischen 0·0315 und 0·0574 Procent. Im Mittel enthält die Luft des Continents 0·05 Procent Kohlensäure. Die Menge von Kohlensäure wird durch die Feuchtigkeit der Luft vermindert (absorbirt), daher enthält die

Luft über feuchten Wiesen weniger Kohlensäure als die Luft auf Bergen; daher tritt am Morgen ein Maximum, gegen den Abend aber ein Minimum an Kohlensäuregehalt ein. — Enthält die Luft ein Procent Kohlensäure, so bewirkt sie bereits in uns ein Unwohlsein, woraus sich die Nothwendigkeit einer guten Ventilation von Räumen ergibt, wo z. B. grössere Versammlungen gehalten werden.

Der Gehalt an Ammoniak in der Atmosphäre ist ein sehr geringer, so dass erst die in mehreren hundert Kubikfuss enthaltene Menge desselben untersucht werden kann. Bei der Verdichtung der Wasserdünste, welche früher in der Atmosphäre schwebten, wird alles Ammoniakgas, welches mit denselben in Berührung kommt, vom Wasser absorbirt, und so mit dem Regen, Schnee u. s. w. zur Erde geführt. Auf diese Weise gelang es dem bekannten Chemiker Liebig das Vorhandensein des Ammoniaks in der Atmosphäre nachzuweisen, indem er das Regenwasser auf den Gehalt desselben untersuchte. Wird dem Regenwasser Salzsäure zugesetzt, so entsteht Salmiak aus der Verbindung mit dem darin etwa vorkommenden Ammoniak. Dieser Salmiak ($ClH + NH_3 = ClNH_4$) bleibt nach dem Abdampfen des Wassers zurück. Wird diesem Rückstande gepulverter, gelöschter Kalk zugesetzt, so bildet sich Wasser und Chlorcalcium, während Ammoniak ausgeschieden wird und als Gas entweicht und sich an dem bekannten urinösen Geruche zu erkennen gibt.

c) Die Bestandtheile der Atmosphäre lagern sich nicht nach dem Gesetze der tropfbaren, nicht mischbaren Flüssigkeiten von ungleicher Dichte, sondern sie sind als mischbare Flüssigkeiten anzusehen, die sich nach dem Dalton'schen Gesetze nach allen Richtungen so ausbreiten, als wenn jedes für sich unabhängig von den andern eine Atmosphäre um die Erde bilden würde. Durch diese Vertheilung der verschiedenen Bestandtheile entsteht ein Gemenge, bei welchem im Gleichgewichtszustande das Verhältniss der Bestandtheile an Orten von gleicher Höhe dasselbe ist. An Orten von verschiedenen Höhen sollte dieses Verhältniss verschieden sein; allein da in der Atmosphäre keine Ruhe herrscht, so bringen Winde die Luft aus allen Höhen und Gegenden durch einander, so dass in allen Höhen die Mischung der Bestandtheile als eine gleichförmige anzusehen ist.

d) Jeder dieser Bestandtheile spielt in der Atmosphäre seine eigene Rolle. Der Sauerstoff dient zum Athmen und zum Lebensprocess, und ist zur Verbrennung und Verwesung organischer Substanzen unentbehrlich. Ein Mensch allein verbraucht beim Athmen täglich mehr als 25 und jährlich mehr als 9000 Kubikfuss Sauerstoff, wofür er eine bedeutende Menge Kohlensäure in die Luft ausathmet; beim Verbrennen von 100 Pfund trockenen Holzes verbinden sich mit den 42 Pfund Kohlenstoff desselben 112 Pfund oder 1400 Kubikfuss Sauerstoff zu Kohlensäure. Bringt man die vielen Millionen Menschen und die noch grössere Anzahl von Thieren, die ungeheure Menge von Brennmaterial, die Menge von Pflanzen und Thieren, die verwesen und absterben, in Rechnung, so sieht man die Möglichkeit, dass der Sauerstoff der Atmospähre ungeachtet seiner ungeheuren Masse von circa 7 Trillionen 631916 Billionen Pfund doch nach und nach im Laufe von Jahrtausenden verschwinden und durch kohlensaures Gas ersetzt werden und dadurch die gegenwärtige Thierwelt zu Grunde gerichtet werden könnte, wenn nicht ein anderer Vorgang in der Atmosphäre die Anhäufung von Kohlensäure verhindern und zugleich den entzogenen Sauerstoff ersetzen würde.

Es besteht aber ein Kreislauf in der Natur, welcher eine solche Gefahr beseitigt. Derselbe besteht darin, dass die dem thierischen Organismus so gefährliche Kohlensäure ein Hauptnahrungsmittel für die Pflanzen bildet. Kohlensäure und Ammoniak, welche das Wasser in grösserer Menge als andere Gasarten absorbirt, werden oft unmittelbar bei der Verwesung und Fäulniss im feuchten Boden zurück gehalten und als Pflanzennahrung verwendet. Der Kreislauf selbst aber geht in der Weise vor sich, dass die Kohlensäure von der Pflanze unter Mitwirkung des Lichtes zersetzt und der Kohlenstoff mit den Elementen des Wassers und des Ammoniaks assimilirt wird, während sich Sauerstoff ausscheidet und der Atmosphäre zurück gegeben wird. Hier unterhält der Sauerstoff wieder das Leben der Thiere, die Fäulniss und Verwesung organischer Stoffe und bereitet so in seinen Verbindungen neue Nahrung für die Pflanzenvegetation.

Eine weitere wichtige Rolle, welche die Kohlensäure in der Natur spielt, besteht darin, dass sie bei dem Verwitterungsprocesse die Gebirgsarten zerlegt oder aufschliesst, zur Pflanzennahrung

umarbeitet und so allmälig aus dem Gesteine selbst neue Pflanzennahrung fördert.

Der Stickstoff der Atmosphäre nimmt aber weder am Athmungs- noch am Verwesungsprocesse Antheil, ja er ist selbst bei der Ernährung der Pflanzen nicht betheiligt, obwohl zur Bildung der Albuminoide in der Pflanze, also zur Bildung des Samens und anderer Stoffe Stickstoff erforderlich ist. Dieses Verhalten hat seinen Grund darin, dass Stickstoff selbst ein sehr indifferentes Element ist, und die Pflanze überdies keinen Grundstoff direct sich anzueignen vermag; den Stickstoff, welchen die Pflanzen benöthigen, nehmen sie in Form von Ammoniak auf.

e) Bei den Bewegungen der Menschen und Thiere leistet der Luftdruck bedeutende Dienste, denn man kennt die Erfahrung, dass auf hohen Bergen unter bedeutend geringerem Luftdrucke das Gehen schneller ermüdet, als in tiefen Thälern. Doch viel folgenreicher ist der Einfluss des Druckes auf die Säftebewegung in den Organismen. Wenn in den Gebirgen der tropischen Zone, die mit gewissen Gegenden der nördlichen Breite hinsichtlich der Bodenbeschaffenheit, der Temperatur und der Feuchtigkeit durchaus übereinstimmen, dennoch eine ganz andere Vegetation vorkommt, wenn z. B. an der Spitze des Pic von Teyde, auf den canarischen Inseln, deren Höhe von 11,430 Fuss bei der dem Wendekreise sehr nahen Lage noch nicht bis in die Region des ewigen Schnees hinaufreicht, doch keine Spur organischen Lebens wahrzunehmen ist; so ist man berechtigt die Ursache dieses Vegetationsmangels und dergleichen Erscheinungen in der geringeren Dichte und dem geringeren Luftdrucke der Atmosphäre daselbst zu suchen.

Zu der überaus üppigen Vegetation der urweltlichen Flora, deren Ueberreste als weit und breit verbreitete Lager von Anthracit, Braun- und Steinkohlen auftreten, hat nicht nur der reichliche Gehalt der Atmosphäre an Kohlensäure und Wasserdampf, sondern auch der durch diese Dunstmassen vermehrte Luftdruck seinen Theil beigetragen.

f) Zu den zufälligen Beimengungen der Atmosphäre gehören auch organische Stoffe, wie Samen, Infusorien u. s. w.; häufig enthält die Atmosphäre auch Stoffe, die bei der Verwesung und Fäulniss thierischer und vegetabilischer Substanzen, so wie solche, die sich bei Krankheiten bilden und mit den

Gasen und Dünsten in die Atmosphäre geführt werden. Die von Krankheiten herrührenden Stoffe sind, wenn sie sich im Zustande der Zersetzung befinden, geeignet, dem Blute oder gewissen Bestandtheilen desselben, sobald sie damit in Berührung kommen, den Zustand der Zersetzung mitzutheilen und eine Krankheit zu erzeugen, ähnlich wie Hefe einer Zuckerlösung beigemengt, eine Gährung derselben veranlasst. Solche Krankheitsstoffe nennt man Miasmen; besitzen dieselben die Fähigkeit, sich im Blute eines Andern wieder zu erzeugen, so heisst man sie Contagien.

Nach Boussingault überzeugt man sich leicht von dem Vorhandensein organischer Stoffe in der Luft sumpfiger und ungesunder Gegenden, wenn man zwei Glasschalen, von denen die eine mit warmem, die andere mit abgekühltem Wasser gefüllt ist, so dass sich Thau an der Schale bildet, längere Zeit an einem solchen Orte stehen lässt. Die Dünste der Luft schlagen sich an dem kalten Wasser nieder, und mit ihnen auch die Stoffe, welche darin vorkommen. Bringt man dann in jede Schale einen Tropfen Schwefelsäure und dampft das Wasser ganz ab, so findet man die erkaltete Schale geschwärzt, die andere aber nicht, zum Beweise, dass in das kalte Wasser organische Stoffe aus der Atmosphäre aufgenommen worden sind.

§. 3. **Ueber die klimatischen Verhältnisse,** welche aus der Sonnenwärme unter dem Einflusse der Erdoberfläche hervorgehen.

Beobachtet man die Temperatur der Luft jede Stunde während eines ganzen Tages, so hat man 24 Werthe für die Temperatur aufgefunden; addirt man diese Werthe und dividirt die Summe durch die Anzahl der 24 Beobachtungen, so erhält man das sogenannte arithmetische Mittel als mittlere Temperatur des Tages.

Wegen der schweren Ausführung der stündlichen Beobachtungen pflegt man nur dreimal des Tages, und zwar Morgens zwischen 6 und 7 Uhr, Nachmittags um 2 Uhr und Abends zwischen 8 und 9 Uhr die Temperatur zu beobachten und daraus das Tagesmittel zu bestimmen.

Dividirt man die Summe der mittleren Temperaturen der einzelnen Tage eines Monates durch die Anzahl der Monatstage, so erhält man zum Quotienten die mittlere Temperatur des Monates. Das arithmetische Mittel aus den mittleren Temperaturen der 12 Monate eines Jahres gibt die mittlere Jahrestemperatur.

Die mittlere Jahrestemperatur ist für jeden Ort eine fast unveränderliche Grösse, denn die Aenderung derselben beträgt in verschiedenen Jahren höchstens 1 bis 2 Grad. Dieses gilt namentlich für die allgemeinen Monats- und Jahresmittel.

Man bekommt das allgemeine Monatsmittel, indem man aus den Beobachtungen von mehreren Jahren die mittleren Temperaturen desselben Monats addirt und die Summe durch die Anzahl der benützten Beobachtungsjahre dividirt. Das arithmetische Mittel aus den mittleren Jahrestemperaturen für eine grössere Anzahl Jahre gibt dann das allgeine Jahresmittel.

Auf Vorschlag von Alexander v. Humboldt hat man eigene Karten angefertigt, auf welchen die Orte, welche dieselbe mittlere Jahrestemperatur besitzen, durch Linien verbunden erscheinen. Man nennt diese Linien Isothermen.

Um die Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche dem Auge übersichtlich und anschaulich zu machen, dazu sind die Isothermen vorzüglich geeignet. Der Verlauf derselben ist nicht parallel zum Aequator, sondern bildet unregelmässige Linien von verschiedenen Krümmungen. Nimmt man eine Isothermenkarte zur Hand und beobachtet z. B. den Verlauf der Isotherme von + 8° R. in der Richtung von Ost nach West, so sieht man, dass sie von der Wüste Sahara in Asien, wo sie dem Aequator am nächsten ist, immer mehr nördlich in grössere Breiten gelangt, bei Astrachan, Wien und durch Holland geht, dann nördlich von London auf die Insel Man übersetzt, wo sie ihren nördlichen Wendepunkt erreicht. Von da an rückt sie wieder dem Aequator mehr und mehr zu, bis sie bei Newyork wieder den südlichen Wendepunkt erreicht hat, von wo sie wieder nordwärts steigt, im stillen Weltmeere nahe an der Westküste Nordamerika's unter 56° nördl. Br. ihren zweiten nördlichen Wendepunkt erreicht, von wo sie sich dann wieder gegen Süden wendet u. s. w.

Bemerkenswerth ist es, dass bei jeder Isotherme die südlichsten Wendepunkte im Innern von Asien und an der östlichen Küste von Nordamerika, die nördlichsten aber an der Westküste von Europa und von Nordamerika liegen.

Ausser den Monats- und Jahres-Isothermen kommen im physikalischen Atlas auch sogenannte thermische Isanomalen vor. Eine Isothermenkarte gestattet durch Interpolation die mittlere Wärme für 36 in demselben Parallelkreise liegende, von 10 zu 10 Grad von einander entfernte Orte zu ermitteln. Das Mittel aus den so gefundenen Werthen heisst nach Dove die normale Temperatur des Parallels und der Unterschied zwischen

der mittleren Temperatur des Ortes und der Normaltemperatur seines Parallels die thermische Anomalie. Thermische Isanomalen heissen daher die Curven, welche die Orte von gleicher thermischer Anomalie mit einander verbinden.

Kältepole. Der Verlauf der Isothermen zeigt auch die Eigenthümlichkeit, dass diese Linien nicht nach einem Punkte im Norden verlaufen, sondern in der Nähe des Poles zwei getrennte, in sich selbst zurückkehrende Liniengruppen bilden, deren Mittelpunkt Brewster Kältepole nennt, deren einer auf dem asiatischen, der andere auf dem amerikanischen Continente liegt. Darnach wäre also zu schliessen, dass nicht der Nordpol der kälteste Ort der nördlichen Halbkugel sei.

Die starken Krümmungen der Isothermen beweisen, dass der von der geographischen Breite abhängige Wärmezustand des Ortes, d. i. solare Klima, durch die Einflüsse, welche sich auf der Erdoberfläche geltend machen, oft bedeutend geändert wird. Zu solchen Einflüssen gehören vorzugsweise 1. die Strömungen an der Oberfläche der Meere und in der Luft, welche die warmen Wasser und Luftmassen von Süden nach Norden führen; 2. die Beschaffenheit des Bodens; 3. der Wärmezustand benachbarter Länder; 4. die Nähe ausgedehnter tiefer Gewässer; 5. die Erhebung des Ortes über die Meeresfläche.

1. Die Meereströmungen, welche von der heissen Zone gegen die beiden Pole das warme Wasser führen, haben ihre Ursache in der stärkern Erwärmung des Meerwassers in der heissen Zone. Das stärker erwärmte Wasser dehnt sich auch mehr aus als das in benachbarten kälteren Gegenden, sucht sich durch diese grössere Ausdehnung gleichsam über den gewöhnlichen Meeresspiegel zu erheben und fliesst daher gegen die niedrigeren Wasserflächen in den grössern Breiten ab. Diese Ströme von warmem Wasser bringen viel Wärme in die grössern Breiten mit sich und bewirken günstigere Wärmeverhältnisse, als sie ohne solche zu erwarten wären.

Golfstrom. Das vom Aequator gegen Norden zu strömende warme Wasser hat in Folge der Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde von West nach Ost und vermöge seiner Trägheit das Bestreben, mit der grössern Geschwindigkeit der heissen Zone, woher es kommt, gegen Osten vorzurücken,

daher erscheint die Strömung desselben desto mehr nach Osten gerichtet, je geringer die Geschwindigkeit des Ortes ist, d. h. je nördlicher es kommt. Dies ist die Entstehungsweise des im atlantischen Ocean vorkommenden Golfstromes, der das Aequatorialwasser von der Bahamastrasse in Westindien gegen Neufoundland in Nordamerika führt. Dieser fliesst anfangs nördlich, neigt sich aber immer mehr gegen Osten, und wird in dieser Richtung durch die nach Nordosten gerichtete Küste von Nordamerika unterstützt, wodurch er die Strömung gegen die Küste von Irland und Norwegen gewinnt, und diesen Westküsten von Europa mit dem wärmern Wasser ein milderes Klima bringt. Unter dem Einflusse des Golfstromes wird das Polareis selbst in der kältesten Jahreszeit von den europäischen Küsten abgehalten, so dass die Schiffer mitten im Winter bis zur Südspitze von Spitzbergen fahren können. — Auch im grossen Ocean hat man eine Strömung warmen Wassers vom Aequator nach nordöstlicher Richtung beobachtet. Diese ist eine hauptsächliche Ursache des mildern Klima's, welches die Westküste von Nordamerika besitzt.

Die Westküsten der Festländer verdanken jedoch ihr milderes Klima nicht ausschliesslich den Meeresströmen, sondern auch den von der heissen Zone kommenden Südwestwinden. Diese streichen über dem Meere, welches seiner grossen Wassermassen und des Hinabsinkens der erkalteten Theilchen wegen keiner grossen Abkühlung fähig ist, und behalten daher die meiste Wärme, die sie aus den südlicheren Gegenden mitbringen. Die Südwestwinde kommen daher noch warm an den Westküsten der Länder an und verlieren erst nach und nach ihren erwärmenden Einfluss, so dass sie noch bedeutenden Länderstrecken an den Küsten ein milderes Klima verschaffen.

Diesen Luft- und Meeresströmuugen, sowie dem Einflusse des Meeres selbst ist die Erscheinung zuzuschreiben, dass in Europa die mittlere Jahrestemperatur in gleichen geographischen Breiten desto tiefer sinkt, je weiter man vom atlantischen Ocean gegen Osten geht. Pecking im östlichen Theile von Asien liegt etwas südlicher als Neapel, hat aber eine über 4° tiefere mittlere Jahrestemperatur als Neapel.

2. Die Bodenbeschaffenheit übt vorzüglich durch das Verhalten zur Sonnenwärme einen mächtigen Einfluss auf das Klima aus. Ein dunkler Boden absorbirt viel mehr Wärmestrahlen als ein lichterer, deshalb steigt seine Temperatur viel rascher; desgleichen wird auch ein sandiger Boden rasch und stark erwärmt, aber ebenso rasch abgekühlt; daher ist in der Sahara-Wüste

die Tageshitze unerträglich, und doch sind die Nächte unter dem stets heitern Himmel kalt.

Einen grossen Einfluss auf die Erwärmung des Bodens hat die Vegetation desselben. Auf einen pflanzenleeren Boden wirken die Sonnenstrahlen schnell und stark, erwärmen und trocknen ihn aus, während der mit Pflanzen bewachsene Boden beschattet ist und daher nicht stark erwärmt werden kann, weil viel Wärme zur Verdunstung des als Thau abgesetzten Wassers verbraucht wird. Dafür aber behält der beschattete Boden seine geringere Wärme länger und kühlt bei der Nacht nicht so stark ab, weil die Pflanzen die Wärmeausstrahlung theilweise verhindern. — Einen andern Einfluss aber übt die Pflanzenwelt auf die Atmosphäre; diese wird in hellen Nächten stark abgekühlt, weil die grosse Oberfläche der dem freien Himmel zugewendeten Pflanzentheile durch Ausstrahlung viel Wärme verliert, daher auch der Luft, welche die abgekühlten Pflanzentheile berührt, viel Wärme entzogen wird.

Die Wirkung der Waldungen auf das Klima spricht sich also darin aus, dass diese im Sommer die Hitze, im Winter die Erkaltung des Bodens mässigen; dass sie die rasche Verdunstung des Regenwassers verhindern, daher zur Entstehung von Quellen Anlass geben; ferner verhindern die Wälder die Vereinigung und das rasche Abfliessen des Regenwassers, was für die Anhöhen von grossem Einflusse ist, denn ist der Boden auf Anhöhen unbewaldet, so wird durch das rascher abfliessende Regenwasser mit der Zeit viel mehr Erdreich herabgeschwemmt, so dass zuletzt nur kahle Felsen zurückbleiben, und wegen Wassermangel die Quellen versiegen. Aber auch auf die Menge des Regens und auf den Wasserreichthum der ganzen Umgebung üben die Waldungen den mächtigsten Einfluss, indem sie im Sommer die Hitze vermindern und die Feuchtigkeit in dem Boden erhalten.

3. D e r W ä r m e z u s t a n d b e n a c h b a r t e r L ä n d e r übt auch einen überall nachweislichen Einfluss auf das Klima eines Landes aus. So hat Nordafrika seine bessern Wärmeverhältnisse seiner festen Verbindung mit der heissen Erdzone zu verdanken. Aus demselben Grunde haben die Länder von Nordasien und Nordamerika, welche dieselbe geographische Breite haben, wie die Nordländer Europas, ein viel ungünstigeres Klima als die

europäischen, weil sie mit Ländern der kalten Zone im Zusammenhange stehen.

Der Einfluss der Nachbarländer macht sicht namentlich durch Winde geltend.

So bringt der von der heissen Zone kommende Wind in Gegenden von grösserer Breite viel Wärme, und zwar in dem Falle, wenn er von einem heissen Festlande kommt, viel mehr als wenn er vom Meere herkommt. Europa hat sein milderes Klima dem Umstande zuzuschreiben, dass die Südwinde, aus dem Innern Afrika's kommend, die Wärme des ausgedehnten festen, stark erhitzten afrikanischen Bodens mitführen, während Asien seine Südwinde grösstentheils aus der tropischen Zone weit ausgedehnter Meere erhält, welche viel weniger Wärme mitführen.

Länderstriche, welche an kalte Erdstriche grenzen, werden nicht selten durch die von den kalten Gegenden an der Erdoberfläche herwehenden Winde stark abgekühlt, während andere, bei welchen diese Luftströmung an der Erdoberfläche durch Gebirgszüge aufgehalten wird, vor solcher Abkühlung geschützt sind. So hat Ungarn sein warmes Klima der Karpathenwand zu danken, welche das Land vor kalten Nord- und Nordostwinden schützt.

4. Ausgedehnte tiefe Gewässer mässigen sowohl die Hitze der Sommers, als auch die Kälte des Winters. Das Wasser kann nämlich wegen seiner grossen specifischen Wärme, wegen seiner geringen Absorptionsfähigkeit für Sonnenstrahlen, sowie wegen des grossen Wärmeverbrauches zur Verdunstung an der Oberfläche, von der Sonne nicht so rasch und so bedeutend erwärmt werden als das feste Land. Aus diesem Grunde hat die Luft über den Gewässern zur Zeit, wo der feste Erdboden und die darüber befindliche Luft schon stark erhitzt sind, eine geringere Temperatur, weshalb sie von unten her gegen das feste Land strömt und dasselbe abkühlt, während die über dem heissen Boden in die Höhe aufgestiegenen Luftmassen oben gegen die Gewässer hin abfliessen.

Zu einer Zeit, wo der von der Sonne kommende Ersatz in Wärme kleiner ist, als der in gleicher Zeit erlittene Verlust, das ist zur Nachtzeit und im Winter, wird das feste Land rascher und bedeutender abgekühlt als das Wasser. Die Luft wird daher zu dieser Zeit über den Gewässern wärmer als über dem festen Lande.

Zu dieser höhern Wärme trägt auch der eigenthümliche Abkühlungsprocess des Wassers, bei welchem die abgekühlten Theilchen in die Tiefe sinken und stets wärmere an die Oberfläche treten, und so immer neue Wärmemengen an die Luft abgeben. Die Folge davon ist, dass zur Nachtzeit oder im Winter die wärmere Luft über den Gewässern in die Höhe steigt, gegen das feste Land strömt und diesem namentlich dort, wo sie die abfliessende kalte Luft ersetzt, die mitgebrachte Wärme mittheilt. Auf diese Weise wird das feste Land von benachbarten tiefen Gewässern zur Nacht- und Winterszeit fort und fort erwärmt, so dass es sich nicht so sehr abkühlen kann. Aus diesem Grunde haben Länder in der Nähe tiefer Gewässer kühle Sommer und gelinde Winter, so dass der Unterschied zwischen der mittleren Temperatur des kältesten und wärmsten Monates nicht so beträchtlich ist, als in Gegenden, die von Meeren weit entfernt sind.

Aus den angeführten Temperatur-Einflüssen erklärt sich das mildere Seeklima, das auf dem Meere, auf Inseln und an Meeresküsten herrscht, und das Continental-Klima, welches in Binnenländern herrscht und sich durch heisse Sommer und kalte Winter charakterisirt, und somit auch grosse Temperatur-Unterschiede zwischen dem kältesten und heissesten Monat aufzuweisen hat.

England und Irland, die Küsten der Bretagne und der Normandie haben ein Seeklima; Europa im Allgemeinen hat in Folge von Binnenmeeren und tief einschneidenden Meerbusen ein mildes Klima, während der ausgedehnte Continent von Asien ein rauheres Continental- oder excessives Klima besitzt. In Wien ist die mittlere Temperatur im Jänner — 1·21° R., in Dublin + 2·88° R., in London + 2·22° R.; dagegen in Astrachan — 8·6° R.

5. Die Erhebung des Ortes über die Meeresfläche führt eine Abnahme der Temperatur der Luft mit sich. Die Luft, deren Dichte mit der Erhöhung über die Meeresfläche stetig abnimmt, vermag in den höhern Regionen, wo auch weniger Wasserdünste in ihr vorkommen, weit weniger Wärme zu absorbiren als in der untern Luftregion. Die durch Leitung nach oben gehende Wärme kann aber nur langsam in diese Schichten gelangen. Dazu kommt noch der Umstand, dass die von der erwärmten Erdober-

fläche aufsteigenden Luftmassen sich während des Aufsteigens ausdehnen und dabei den Widerstand der Atmosphäre zu überwinden und Arbeit zu verrichten haben, weshalb sie einen äquivalenten Theil von Wärme verlieren und sich abkühlen, bevor die Luftströmung oben anlangt.

Gay-Lussac, der im J. 1804 zu Paris zuerst in Begleitung von Biot, und später noch einmal allein eine Luftfahrt bis ungefähr 27,000 Fuss über die Meeresfläche machte, fand unter andern wissenschaftlichen Resultaten, dass die Temperatur mit der senkrechten Erhebung abnimmt. In der Höhe von circa 21,000 Fuss fand er die Temperatur von 7·6° R., während in Paris, wo er sich erhob, eine Temperatur von 24·8° R. beobachtet wurde. — Und dieses Gesetz der Abnahme der Lufttemperatur gilt für alle Orte der Erdoberfläche, selbst den Aequator nicht ausgenommen.

Die Sonnenstrahlen erwärmen zwar sehr bedeutend den Boden hoch gelegener Gegenden, weil sie beim Durchgange durch die obere, dünnere und weniger hohe Luftschichte auch weniger geschwächt werden, als die in Tiefländer herabgehenden Strahlen; allein der Boden der Hochländer erleidet aus demselben Grunde durch Ausstrahlung der Wärme einen viel grössern Wärmeverlust als in der Tiefe. Ausserdem stehen die Gebirge mit ihren obern Gegenden mit Luftschichten von niedriger Temperatur in Berührung, so dass Luftströme entstehen, welche die wärmere Luft von den Höhen wegführen und die kalte aus der Nachbarschaft hinzubringen. Aus diesem Grunde ist in Hochgegenden die Abkühlung um so grösser, je mehr der Boden mit Luft umgeben ist, daher Berggipfel, welche in die kalte Luft hineinragen, bei gleicher Höhe über die Meeresfläche ein kälteres Klima haben als Hochebenen.

Die Abnahme der Temperatur mit der Erhebung über die Meeresfläche hat zur Folge, dass es in jeder geographischen Breite eine bestimmte Höhe gibt, wo der Schnee selbst im Sommer nicht mehr ganz schmelzen kann. Die Höhe, über welche hinaus der Schnee selbst in den Sommermonaten liegen bleibt, heisst die Schneegrenze. Diese Höhe nimmt mit der geographischen Breite ab; auf den Cordilleren in der Nähe des Aequators beträgt sie 2460 Par. Klafter, in den Pyrenäen 1400, in den Alpen 1300, im Innern von Norwegen 850.

Die Abnahme der Temperatur mit der Erhebung über die Meeresfläche hat zur Folge, dass auch die mittlere Temperatur der Monate und des Jahres in verschiedenen Höhen verschieden gross ist. Denkt man sich die in verschiedenen Breiten liegenden Orte von gleicher mittlerer Jahres-Temperatur durch Linien verbunden, so erhält man Isothermen, welche sich in ihrem Verlaufe von den Polen gegen den Aequator immer höher über den Erdboden erheben. Die niedern Temperaturen also, welche sich im Norden schon an der gewöhnlichen Oberfläche der Erde finden, sind selbst am Aequator in bestimmten Höhen wieder zu finden.

Von den heissen Thälern eines in der heissen Zone gelegenen Gebirges bis zu der Schneeregion, in welcher selbst die Sommerhitze den Schnee nicht wegzuschmelzen vermag, gibt es eine ganze Reihe von klimatischen Abstufungen, die sich auch in der Physiognomie der Thier- und Pflanzenwelt charakterisiren. Es ist also für den Beobachter die Abstufung der Thier- und Pflanzenwelt bei senkrchter Erhebung über den Boden der heissen Zone dieselbe wie bei seiner weiten Wanderung von dieser Zone nach Norden hin.

In den tropischen Ländern ist dieser Wechsel der Pflanzenwelt höchst auffallend. Besteigt man den Pic von Teyde, so geht man am Fusse desselben durch üppige Weingärten und Maisfelder, welche dort die ursprüngliche Vegetation verdrängt haben, und kommt höher oben in die Region der immergrünen Laubhölzer. In der Höhe von 4000 Fuss verlieren sich aber auch Laubhölzer und Nadelholz tritt in der harzigen canarischen Kiefer auf. Die Nadelhölzer reichen bis zur Höhe von 6000 Fuss; von da an geht die Vegetation plötzlich in niedere Gesträuche über, darauf folgen höher noch Pflanzen, welche den Charakter von Alpenkräutern tragen, und über diesen ragen die nackten Felsen in die Schneeregion.

§. 4. Ueber den Gang der Wärme während eines Jahres.

a) Sonnenwärme. Der jährliche Gang der Wärme auf der Erdoberfläche hängt meistens von der strahlenden Sonnenwärme ab; diese ist daher als eine Hauptursche des Klima's anzusehen. Die Sonne erscheint im Laufe des Jahres über unserm Horizonte am Mittage in verschiedenen Höhen, so zwar, dass sie vom 21. December, wo sie am tiefsten steht, und daher ihre Strahlen am

schiefsten auf unsern Horizont auffallen, bis zum 21. Juni immer höher und höher sich über den Horizont erhebt, und aus dieser Stellung, wo die Strahlen mit dem Horizonte den grössten Winkel bilden, wieder immer tiefer sinkt und nach Ablauf eines Jahres am 21. December wieder ihren niedrigsten Standpunkt einnimmt. Da das Gesetz für die Wirkung der Wärmestrahlen dasselbe ist, wie jenes für die Lichtstrahlen, welches sagt, dass die Wirkung mit dem Sinus des Neigungswinkels der Strahlen zur getroffenen Fläche zunimmt, so ersehen wir den Hauptgrund der zunehmenden Wirksamkeit der Sonnenstrahlen bei der Annäherung und Wiederentfernung der Sonne. Dazu kommt noch der Umstand, dass die Sonne vom 21. März bis 21. September durchschnittlich viel längere Zeit über dem Horizonte verweilt, und sich so mit der Zeit ihre ohnehin stärkere Einwirkung noch vermehrt, während in der zweiten Hälfte des Jahres das entgegengesetzte stattfindet.

b) Man hat in der gemässigten Zone aus langjährigen Beobachtungen die arithmetischen Mittel der klimatischen Erscheinungen berechnet und nachfolgende Resultate gefunden:

1. Die Aenderung der mittleren Tageswärme ist im December am geringsten, vom Neujahr an wächst sie, wird im April am grössten und nimmt späterhin wieder ab. In bedeutenden Entfernungen von den Küsten ist diese Aenderung auf den Meeren geringer als auf dem festen Lande.

2. Nach Mädlers Zusammenstellung der an verschiedenen Orten von Europa durch 110 Jahre gemachten Beobachtungen fällt im Durchschnitt die wärmste Zeit zwischen den 16. Juli und 10. August; die grösste Kälte tritt um den 6. Jänner ein, daher der Dreikönigstag als Kältebringer bekannt ist. Die mittlere Jahrestemperatur tritt im April und October auf. Juli erscheint als der heisseste, Jänner als der kälteste Monat.

3. Die Temperatur nimmt von dem Zeitpunkte der grössten Kälte nicht nach und nach zu, sondern es treten auch Rückfälle ein. Die grösste Anomalie bildet die Kälte zwischen dem 9. und 12. Mai in den für die südlichen Gewächse so gefährlichen Pancratius- und Servatiustagen. In 110 Jahren war die Temperatur in diesen Tagen 70mal gesunken und nur 40mal gestiegen. Mädler schreibt diese Kälte dem Umstande zu, dass zu dieser

Zeit die grossen Schneemassen im Nordosten schmelzen, wo dann die stark abgekühlte Luft von Nordost nach Europa herüberströmt.

4. Die Wärme nimmt einen ruhigeren Gang in der zweiten Jahreshälfte ein, namentlich im September; in der Mitte Octobers stellt sich gewöhnlich dauernd heitere Luft ein.

5. Grössere Abweichungen von dem gewöhnlichen Gange der Wärme lassen sich immer auf beträchtliche Strecken fühlen, doch berühren sie niemals die ganze Halbkugel. Gewöhnlich herrscht in Europa und Asien dieselbe, in Amerika die entgegengesetzte Abweichung; nur selten geht die Linie zwischen den entgegengesetzten Abweichungen von Osten nach Westen. Dieses gleichzeitige Auftreten entgegengesetzter Abweichungen vom normalen Gange der Wärme lehrt, dass in jedem Jahre zu derselben Zeit die nämliche Wärmemenge vorhanden, aber ungleich vertheilt ist.

§. 5. **Die mittlere Jahreswärme bedingt das Fortkommen der Pflanzen.** Nur wenige Pflanzen haben die Natur der Erdbeere, die in jedem Klima gleich gut fortkommt. Die Heidelbeere erfordert ein kühleres Klima, wächst in den Ebenen im nördlichen Deutschland und in der Schweiz in den Wäldern der Voralpen, in den Abruzzen nur auf der hohen Majella. Palmen, Cacao, Vanille u. s. w. gedeihen nur zwischen den Wendekreisen. Zuckerrohr erfordert eine mittlere Jahrestemperatur von 18° R., die Kaffeebohne und Ananas eine mittlere Temperatur von 14·5° R., die Olive 10·5° R., die Kastanien 7·1° R.

Das Studium über die geographische Verbreitung der Pflanzen führte mit Rücksicht auf die klimatischen Verhältnisse der Pflanzorte zu der Einsicht, dass jede Pflanze eine gewisse mittlere Jahrestemperatur, oder mit andern Worten: eine gewisse Wärmemenge braucht, um zu gedeihen. Doch wird die Vegetation eines Ortes nicht ausschliesslich von dieser mittleren Jahrestemperatur bedingt. Die Beobachtungen haben zur weitern Einsicht geführt, dass die Vertheilung der Wärme auf einzelne Monate und Jahreszeiten, so wie die grössten Temperatur-Aenderungen der Tage und Monate einen grössern Einfluss auf das Gedeihen der Pflanzen üben, als die mittlere Jahreswärme selbst.

In der Meteorologie ist es üblich geworden, die Monate December, Jänner und Februar zum Winter, die Monate März,

April und Mai zum Frühling, die Monate Juni, Juli und August zum Sommer, und die Monate September, October und November zum Herbst zu rechnen. Das arithmetische Mittel der mittleren Temperatur der drei Wintermonate gibt dann die mittlere Winterwärme, das der drei Sommermonate die mittlere Sommerwärme eines Ortes. Die Verbindungscurven der Orte von gleicher Sommerwärme heissen Isotheren, die der Orte von gleicher Winterwärme Isochimenen.

Dem Verlaufe der Isotheren folgen gewisse Pflanzen, so wie andere den Isothermen und wieder andere den Isochimenen. Manche Pflanzen vermögen eine grosse Winterkälte zu ertragen, aber sie bedürfen auch einer grossen Sommerwärme, wenn ihre Früchte zur Reife kommen sollen. So gedeiht z. B. Wein und Mais in Astrachan, wo im Winter das Quecksilber friert, während sie an Orten von geringerer Sommerwärme nicht reif werden. Die Myrthe kommt an der nordöstlichen Küste von Irland, wo im Winter kein Eis sich bildet, dafür aber im Sommer nicht einmal die Stachelbeere genug Wärme findet, jedoch eben so gut im Freien fort wie in Portugal.

Für die Orte Drontheim, Wien, London, Paris, Moskau und Astrachan ist die mittlere Sommerwärme respective + 13°R., + 16·5°, + 13·7°, + 14·5° + 13·3°, + 17·4° R.; die mittlere Winterwärme aber . . . — 3·8° R., — 0·02° + 3·4°, + 2·6°, + 8·1°, — 4°R.

§. 6. **Ueber die Winde und ihre Ursachen.** Wind nennt man die nach einer gewissen Richtung fortschreitende Luftströmung. So wie bei jeder Bewegung hat man auch beim Winde die Richtung und die Geschwindigkeit der Bewegung in Betracht zu ziehen. Die Richtung, in welcher der Wind an einem Orte ankommt, erkennt man aus der Stellung der sogenannten Windfahnen, und gibt dem Winde den Namen jener Weltgegend, von welcher er herkommt. Z. B. ein von Süden kommender Wind heisst Südwind. — Nach den vier Weltgegenden unterscheidet man vier Hauptwinde: Nord-, Ost-, Süd- und Westwind, welche man mit den Buchstaben *N, O, S W* bezeichnet. Mitten zwischen je zwei Hauptweltgegenden kommen vor die Winde Nordost *(NO)*, Südost *(SO)*, Südwest *(SW)*, Nordwest *(NW)* u. s. w.

Eine kreisförmige Scheibe mit diesen acht, oder 16 oder 32 gleichen Theilen mit den Weltgegenden bezeichnet, wird Wind-

rose genannt; sie wird horizontal mit den Weltgegenden übereinstimmend aufgestellt.

Die Richtung der Winde in den obern Luftregionen erkennt man an den Wolken, die sie bewegen; diese Richtung ist oft eine andere, als die des von der Windfahne angezeigten Windes in der untern Atmosphäre.

Was die Bestimmung der Geschwindigkeit anbelangt, so hat man es versucht, diese durch sogenannte Windmesser- oder Anemometer zu bestimmen, doch sind solche Bestimmungen ungenau, und man begnügt sich gewisse charakteristische Zustände der Luft anzumerken. So bezeichnet man mit 0 die ganz ruhige Luft, mit 1 den Wind, welcher nur die Baumblätter und höchstens die dünnsten Zweige bewegt, mit 2 den Wind, der schon Zweige und kleine Aeste, mit 3 den, der schon grosse Aeste bewegt, mit 4 den Sturm, der Aeste abbricht und Bäume entwurzelt. Eine Geschwindigkeit von 12 bis 15 Fuss in der Secunde erzeugt einen mässigen Wind, während der Wind mit einer Geschwindigkeit von 32 Fuss schon als Sturm gilt. Die heftigsten Stürme, die sich über weite Länder erstrecken, nennt man auch Orkane.

Die am häufigsten vorkommende Ursache der Winde ist die Verschiedenheit in der Temperatur zweier an einander grenzenden Luftmassen. Dabei stellt sich immer eine doppelte Strömung ein, die eine führt die wärmere Luft oben in den kälteren, die andere die kältere Luft unten in den wärmeren Raum. Sonst aber entsteht im Allgemeinen ein Wind, sobald die Ausdehnsamkeit der Luft an einem Orte auf was immer für eine Weise geändert wird, wie z. B. durch örtliche Abkühlung, durch plötzliche Condensation grosser Dunstmassen, sowie durch einseitige Erwärmung u. s. w.

1. Land- und Seewinde. Die an den Meeresküsten herrschenden Land- und Seewinde haben die Ursache ihrer Entstehung in den ungleichen Temperaturen der Luft über dem Lande und dem angrenzenden Meere. Am Tage wird das feste Land durch die Einwirkung der Sonnenstrahlen viel rascher erwärmt als das Meerwasser, daher tritt allmälig eine Ungleichheit in der Temperatur der darüber befindlichen Luftmassen ein. Die Folge davon ist, dass gegen 9 Uhr Morgens in den untersten Schichten der Luft eine Strömung der Luft vom Meere her, also

ein Seewind, sich entwickelt. Anfangs ist der Seewind schwach, wird aber mit zunehmender Erwärmung des festen Landes immer stärker, am stärksten zur Zeit der grössten Tageshitze. Hierauf nimmt die Ungleichheit der Temperatur dieser Luftmassen nach und nach ab, und der Seewind verliert sich allmälig gegen den Abend. Da aber nach dem Sonnenuntergange sich das feste Land viel rascher abkühlt als das Wasser, dessen glatte Oberfläche ein geringeres Ausstrahlungsvermögen, die Masse aber die grösste Wärmecapacität aller Körper besitzt, so wird zur Nachtzeit die Luft über dem festen Lande kälter als die über dem Meere, daher beginnt eine Luftströmung an der Erdoberfläche vom Lande gegen das Meer, ein Landwind, welcher den Segelschiffen die Abfahrt wesentlich erleichtert.

Eine beträchtliche Stärke erreichen diese Winde nicht, weil auch der betreffende Temperaturunterschied immer nur ein mässiger ist; auch erstrecken sie sich aus gleichem Grunde immer nur einige Meilen weit über's Meer. Am häufigsten kommen sie an den Meeresküsten vor, werden aber nicht selten durch andere Winde geschwächt oder sogar ganz unkenntlich gemacht.

2. Passatwinde nennt man die aus der Ungleichheit der Temperatur der Atmosphäre der heissen und jener der kältern Zonen hervorgehenden continuirlichen Luftströme. In den untern Luftschichten entstehen Strömungen der kalten Luft von den Polargegenden her in der Richtung gegen den Aequator, die man Polarströme nennt, während in den obern Luftschichten Strömungen der warmen Luft vom Aequator gegen die Pole gerichtet sind und Aequatorialströme genannt werden. In der nördlichen Hemisphäre herrscht daher an der Erdoberfläche vorzugsweise der Nordwind, während in höhern Regionen Südwinde vorherrschend sind.

Die Bewegungsrichtung der Polarströme fällt wegen der eigenthümlichen Geschwindigkeit, welche die trägen Luftmassen von der Umdrehung der Erde an sich haben, nicht ganz in die Nordsüdrichtung. Die vom Aequator abströmende Luft des Aequatorialstromes hat eine grössere Umdrehungsgeschwindigkeit als die Luft in grössern geographischen Breiten. Die Luft des Aequatorialstromes bewegt sich daher in unserer geographischen Breite mit ihrer grössern Umdrehungsgeschwindigkeit rascher gegen

Osten als die Luft unserer Atmosphäre und die Körper auf der Erdoberfläche, daher schreitet der Aequatorialstrom bei uns ausser seiner Hauptrichtung zugleich gegen Osten fort, d. h. er bekommt die resultirende Richtung gegen Nordost, so, als käme er direct aus Südwest, und heisst daher auch der Südwestpassat.

Die an der Oberfläche von den Polargegenden zu uns in kleinere geographische Breiten kommende Luft hat hingegen eine geringere Umdrehungsgeschwindigkeit als die Luft unserer Atmosphäre und bleibt gegen die Körper an der Erdoberfläche bei der Umdrehung gegen Westen zurück, derart, als würde der Polarstrom mit einer gewissen Geschwindigkeit von Osten herwehen, d. h. der Polarstrom schreitet ausser seiner Hauptrichtung von Nord nach Süd zugleich gegen Westen fort, und bekommt die resultirende Richtung gegen Südwest hin, so, als käme er direct von Nordost her, und heisst daher der Nordostpassat.

In der südlichen Halbkugel ist aus gleichen Gründen der Aequatorialstrom ein Nordwest- und der Polarstrom ein Südostpassat.

Aus dem Zusammentreffen des Nordostpassats mit dem Südostpassat in den Aequatorialgegenden entsteht ein Ostwind, indem sich die in ihren Richtungen gerade entgegengesetzten Bewegungen aufheben, während die östlichen sich summiren. Der Ostwind selbst behält entweder eine nur geringe Geschwindigkeit, weil die Polarströme während ihres längeren Verweilens in Gegenden von grösserer Umdrehungsgeschwindigkeit eine Vermehrung ihrer Geschwindigkeit erfahren, oder er wird selbst ganz aufgehoben, indem seine schwach bewegten Luftmassen durch die vom erhitzten Erdboden aufsteigenden warmen Luftströme in ihrer horizontalen Bewegung aufgehalten und nach geschehener Erwärmung selbst in die Höhen mitgerissen werden, wo sie in entgegengesetzter Richtung als Aequatorialströme wieder gegen die Pole abfliessen.

Es gibt demnach in den Gegenden des Zusammentreffens beider Polarströme Orte, an welchen der Wind verschwindet und Windstille eintritt, daher nennt man diese Gegenden zwischen den beiden Polarströmen die Region der Calmen oder der Windstillen. In den Calmen herrscht in der Regel Ruhe in der Atmo-

sphäre, wo diese gestört wird, geschieht es durch Windstösse, Stürme und Orkane, welche die hier zu bestimmten Tageszeiten auftretenden Gewitter begleiten. Diese Region der Windstillen umfasst einen ungefähr 6 Grade breiten Erdgürtel zwischen den Grenzen des Nordost- und Südostpassates. Im atlantischen Ocean erstreckt sich der Nordostpassat bis zum 28. und 30. Grad, im grossen Ocean bis zum 25. Grad. Allein die Grenzen der Passate und der Calmen erleiden im Laufe des Jahres bedeutende Aenderungen.

Die Aequatorialpassate werden in grössern geographischen Breiten abgekühlt und verdichtet, und sinken mehr und mehr zur Erdoberfläche herab. Die Wärme, welche die Winde beim Abkühlen verlieren, wird den Gegenden der gemässigten und der kalten Zone zu Theil. So erscheint im atlantischen Ocean der Südwestpassat schon zwischen dem 30. und 40. Grade nördlicher Breite an der Oberfläche des Meeres und weht regelmässig fort.

Die Schifffahrer, welche von Europa nach Amerika mit Segelschiffen fahren, benützen den Nordostpassat, indem sie von Madeira südlich bis an die Grenze des Passatwindes segeln, der sie dann beständig nach Westen treibt. Die Seeleute des Columbus fürchteten, dass sie bei so ausgesprochener Windrichtung keinen günstigen Wind zur Rückfahrt bekommen würden. Aber Columbus wählte auf der Rückreise von den Antillen sogleich den besten Weg, indem er zuerst nach Norden fuhr und dann mit dem Südwestpassat nach Europa. Letzterer Passat ist die Ursache, warum ein Segelschiff zur Ueberfahrt von Amerika nach England viel weniger Zeit braucht als zur Rückfahrt.

3. Küstenwinde. Die Meeresküsten und die Erhebungen derselben geben den Passatwinden oft eine andere Richtung. Aber auch die das feste Land durchziehenden Gebirge und örtliche Luftströmungen bringen gewisse Störungen der Passatwinde mit sich. Namentlich sind es die an den Küsten herrschenden Land- und Seewinde, und die Küsten selbst, welche dort die Passatwinde abändern, so dass diese immer erst in einiger Entfernung von der Küste wahrnehmbar werden. In der Nähe der Küste erhalten die Passatwinde andere Richtung und werden da Küstenwinde genannt.

An der Westküste von Mexico herrscht in Folge dessen ein beständiger Westwind, an der brasilianischen Küste ein beständiger Südwind.

Im indischen Ocean herrschen die sogenannten Moussonswinde. In den Wintermonaten ist die Temperatur des Festlandes von Asien eine niedrige, während das angrenzende indische Meer viel wärmer ist und südlich vom Aequator der Sommer herrscht. Diese Ungleichheit der Temperatur hat zur Folge, dass zu dieser Zeit der Nordostpassat mit besonderer Heftigkeit weht. In der andern Jahreshälfte erscheint das feste Land von Asien viel stärker erwärmt als der indische Ocean, daher entsteht eine Strömung der kältern Meeresluft von Süden nach Norden. Bei weiterem Fortschreiten ändert aber diese Luftströmung die Richtung, denn sie kommt mit der grössern Umdrehungsgeschwindigkeit in grössere nördliche Breiten und erhält dadurch zugleich eine Richtung gegen Osten hin, so dass die Luftströmung im Ganzen aus Südwesten als Südwestwind auftritt. Dieser Südwestwind weht an der Erdoberfläche und erlangt in den Monaten Juli und August seine grösste Stärke, weil zu dieser Zeit der Temperaturunterschied zwischen dem Festlande und dem Meere am grössten ist.

Der Südwestwind herrscht in den nördlichen Theilen des indischen Oceans vom April bis October, vom October bis April hingegen der Nordostwind. Man nennt diese regelmässig abwechselnden Winde Moussons.

Aehnliche Wechselwinde, welche in einer Jahreshälfte oder einem Theile des Jahres diese, in dem andern eine andere oder auch die gerade entgegengesetzte Richtung haben, kommen auch im persischen und arabischen Meerbusen, so wie an der Ostküste von Afrika und Amerika vor.

4. Winde, welche aus dem Zusammentreffen der Aequatorial- und Polarströmung hervorgehen, und das Dove'sche Drehungsgesetz der Winde. Die Polarströme treffen in bedeutenderen Breiten mit dem zur Erdoberfläche herabsinkenden Aequatorialstrome zusammen. Je nach der gegenseitigen Stärke und nach den örtlichen Verhältnissen entsteht aus diesem Zusammentreffen eine neue Luftströmung von anderer Richtung.

Da der Polarstrom in grössern geographischen Breiten nur eine geringe Abweichung von der Nordrichtung haben kann, dagegen der Aequatorialstrom um so beträchtlicher die westliche Abweichung zeigt, je mehr er sich den Polen nähert, so sind sich

diese Luftströmungen dort, wo sie zusammentreffen, nicht gerade entgegengesetzt, sondern es schliessen die Richtungen beider Ströme einen Winkel ein, und es entsteht eine resultirende Bewegung von mittlerer Richtung.

Diese mittlere Richtung wird aber noch durch örtliche Luftströmungen, welche durch Veränderungen der Wärmezustände benachbarter Länder entstehen, verschiedentlich abgeändert, so dass überhaupt auf dem innern Continente ein sehr grosser Wechsel in der Richtung und Stärke des Windes herrscht. Erhält der Nordostwind das Uebergewicht, so wird er bei weiterem Fortschreiten gegen Süden immer mehr östlich, und kann durch neue örtliche Luftströme in einen vollkommenen Ostwind übergehen. Trifft darauf dieser Ostwind mit dem Südwestpassat zusammen, so ensteht als resultirende Luftströmung ein Südostwind, der bei zunehmender Stärke des Südwestpassates immer mehr zu einem Süd- und selbst zu einem Südwestwind wird. Dieser letztere erhält in nördlicheren Gegenden wegen seiner grössern Umdrehungsgeschwindigkeit immer mehr eine westliche Richtung, so dass er ein Westwind werden kann, welcher wieder durch ein Zusammentreffen mit dem Nordostwinde entweder einen Nordwestwind erzeugen oder in einen vollkommenen Nordwind übergehen kann, wo dann bei abnehmender Stärke des Westwindes wieder der reine Nordostpassat auftritt.

Nach diesem Vorgange erfolgt in der nördlichen Halbkugel der Wechsel des Windes in der Regel von Süd nach West, Nord, Ost, Süd, in der südlichen aus gleichen Gründen in entgegengesetzter Richtung. Dieses Gesetz des Wechsels der Winde nennt Dove, der es aus vielfältigen Beobachtungen nachgewiesen hat, das Drehungsgesetz der Winde.

5. Das Hervortreten der einen oder der andern dieser Windrichtungen nach der Jahreszeit. Der Charakter der beiden Passatwinde, des Polar- und Aequatorialstromes, tritt am schärfsten hervor im Winter, wo durch die Schneedecke die sonst durch verschiedene Wärmeleitungs- und Ausstrahlungsvermögen entstehenden Temperaturunterschiede verwischt werden. Im Winter herrscht entweder andauernd der Nordostwind und wir haben heiteres, kaltes Wetter, oder aber es hält der

Südwestwind länger an und erzeugt fortwährend trüben Himmel, aber milderes Wetter.

Im Frühjahre, wenn im Süden der Schnee verschwunden, im Norden aber noch Winter herrscht, tritt der Nordostpassat mit grosser Heftigkeit auf; daher herrscht in vielen Gegenden in Europa im März und April der trockene Nordost- oder Ostwind.

Im Sommer sind in Europa die Westwinde vorherrschend, aus dem Grunde, weil mit der Dauer des Tages die Temperatur des Festlandes schneller zunimmt als die des atlantischen Oceans, welcher ausserdem noch während des Sommers durch Polareismassen Abkühlungen erleidet; so tritt ein Wind auf, der vom atlantischen Ocean über unser Festland herweht, der als Westwind in grössern Breiten den sich herabsenkenden Südwestpassat verstärkt und auch die Richtung desselben westlicher macht, so dass wir im Sommer meist einen Westwind haben.

Im Herbste stellt sich in Folge der schnellern Abkühlung des festen Landes ein Ostwind ein, welcher dem Nordostpassat das Uebergewicht über den Südwestpassat verschafft, so dass zu dieser Jahreszeit die Nordost- und Ostwinde vorherrschend sind.

Die hier angeführten vorherrschenden Winde erleiden aber oft durch Gebirgszüge, so wie auch durch die von hohen Schneebergen herabströmenden kalten Luftmassen mancherlei Abänderung ihrer Richtung. Am häufigsten treten bei uns Südwest-, West- und Nordostwinde auf. — Manche Gegenden von Europa werden auch von den heissen Winden heimgesucht, welche über die stark erhitzten sandigen Flächen von Afrika herkommen und dort Samum, in Aegypten Chamsin, an der Westküste von Sahara Harmatan, in Europa in Andalusien Solano, in Italien und bei uns aber Scirocco genannt werden.

§. 7. **Ueber die verschiedenen atmosphärischen Niederschläge des Wasserdunstes und ihre Ursachen.** Den Uebergang des in der Luft befindlichen Wasserdunstes in den tropfbaren oder festen Zustand nennt man einen atmosphärischen Niederschlag.

Der Uebergang der Wasserdünste in den tropfbaren Zustand wird bekanntlich beim Maximum der Dunstmenge durch Abkühlung, durch Hinzutreten neuer Dunstmassen, so wie auch durch Zusammendrückung hervorgerufen.

Wird durch Winde eine so grosse Dunstmenge zu den in der Atmosphäre befindlichen Dünsten hinzugeführt, dass dadurch das der herrschenden Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft und Dichte überschritten wird, so geht ein Theil der Dünste sogleich in den tropfbaren Zustand über, während der Rest das der Lufttemperatur entsprechende Maximum der Spannkraft behält.

Wird durch irgend eine Ursache, z. B. durch eine kalte Luftströmung die Luft unter die Temperatur abgekühlt, für welche die vorhandene Spannkraft der Dünste ein Maximum ist, so erfolgt auch ein Niederschlag. Ebenso kann durch äussern Druck auf eine Dunstmasse ihre Dichte so weit vergrössert werden, dass sie das der Temperatur entsprechende Maximum überschreitet und einen Niederschlag bewirkt.

Je stärker die Abkühlung oder der Druck, oder je grösser die neu hinzutretende Dunstmasse ist, desto reichlicher wird der atmosphärische Niederschlag. Dieser erscheint in verschiedenen Formen; in Form von Thau an festen Körpern, welche die Abkühlung der Dünste veranlasst haben, oder in Form von Nebel in der Luft, wenn die Condensation des Dunstes in einer feuchten Luftmasse erfolgt, oder als Wolke, deren Wassertröpfchen sich bei fortdauernder Bildung des Niederschlages so sehr vergrössern, dass sie als Regen oder nach Verschiedenheit der Temperatur-Einflüsse als Hagel und Schnee herabfallen.

Der Thau und der Reif. Unter Thau versteht man denjenigen Niederschlag des Wasserdunstes, der sich an festen Körpern in feiner Tropfenform zeigt, wenn der Dunst sich an diesen Körpern stark abkühlt. Gewöhnlich entsteht der Thau an festen, unter freiem Himmel befindlichen Körpern bei einer heitern, windstillen Nacht, in Folge der starken Abnahme der Temperatur, die zur Nachtzeit unter freiem heitern Himmel eintritt. Die Körper strahlen nämlich beständig Wärme nach allen Richtungen und so grossentheils gegen den freien Weltraum aus und kühlen sich in heitern Nächten ab, da sie die letztere Wärme nicht mehr zurück erhalten. Dadurch sinkt die Temperatur der festen Körper um mehrere Grade unter die Temperatur der sie umgebenden Luft, weil diese nur ein geringes Wärmeausstrahlungsvermögen besitzt und als schlechter Leiter durch Mittheilung nur wenig zu wärmen

vermag. Ist aber der Himmel mit Wolken bedeckt, so bemerkt man keinen Unterschied der Temperatur der festen Körper und der sie umgebenden Luft, weil die Wolken, die beim Uebergange der Dünste in den tropfbaren Zustand freigewordene Wärme grossentheils gegen die Erdoberfläche ausstrahlen, und die von der Erdoberfläche kommenden Wärmestrahlen wieder zurückwerfen.

Körper, die bei heiterer Nacht kälter geworden sind, als die sie umgebende Luftschichte, entziehen der Luft und den in ihr befindlichen Wasserdünsten desto mehr Wärme, je niederer ihre Temperatur ist; daher kann die Abkühlung unter die dem Maximum der Spannkraft der Dünste entsprechende Temperatur gehen, so dass sich ein Niederschlag an der Oberfläche der kalten Körper in Tröpfchenform niedersetzt. Das Thauwasser ist gewöhnlich rein (bis auf den beständigen Gehalt an Kohlensäure), aber in der Nähe der Salzseen enthält es etwas Salz.

Die grösste Menge von Thau entsteht vor dem Sonnenaufgang, wo der Temperatur-Unterschied zwischen den Körpern und der Luft am grössten ist. Im Herbst und Frühjahr ist unter sonst gleichen Umständen wegen der längern Nächte und grössern Ausstrahlungszeit die Thaumenge grösser als im Sommer. Ein reichlicher Thau an einem Sommermorgen ist die Folge eines grossen Feuchtigkeitszustandes des Atmosphäre, und daher gewöhnlich der Vorbote des Regenwetters. In wasserreichen Gegenden, besonders in warmen Klimaten, ercheint in Folge des reichen Dunstgehaltes der Thau sehr reichlich.

Die Menge des Thaues auf Anhöhen ist geringer als in den Niederungen, weil die kälter gewordenen Dunsttheilchen auch dichter sind und vor der Condensation schon in die Tiefe herabsinken. Aus diesem Grunde werden Bäume weniger bethaut als Gras. An Körpern, die unter einer Bedeckung oder in der Nähe von Bäumen und hohen Mauern stehen, erscheint kein Thau.

Beträgt beim Eintritte der Nacht die Temperatur der unter freiem Himmel befindlichen Körper nur wenige Grade über Null, so kann diese Temperatur in den langen Herbst- und Frühlingsnächten bei heiterem Himmel und bei Windstille leicht einige Grade unter Null sinken, so dass die an den kalten Körpern abgesetzten Thautröpfchen gefrieren und als Reif erscheinen. Oder

aber es bildet sich Reif auch bei feuchtem und warmem Winde, der auf eine andauernde Kälte folgt, indem die mit den festen Körpern in Berührung kommenden Dunstheilchen gleich so viel Wärme verlieren, dass sie gefrieren. An die bereits erstarrten Theilchen setzen sich andere, die der Wind zuführt, als Reif an, und es dauert dieser Vorgang nahezu so lang, bis die Körper die Temperatur der Luft annehmen. Diese Art Reifbildung erzeugt am Boden Glatteis, an den Bäumen, Häusern u. s. w. aber Eiszapfen, in den Bart- und Haupthaaren im Winter die bekannten Eistheilchen und Schneeflocken.

Der Nebel und die Wolken. Die Bildung der Nebel und Wolken wird ausser der gewöhnlichen Abkühlung des Wasserdunstes namentlich durch die Mengung zweier mit Dünsten gesättigten Luftmassen von ungleicher Temperatur veranlasst. Die Ursache des Niederschlages ist in dem Umstande zu suchen, dass das Maximum der Spannkraft in einem stärkern Verhältnisse zunimmt als die Temperatur, daher das arithmetische Mittel der Spannkraft des Gemenges jederzeit für die mittlere Temperatur desselben zu gross ist. — Wären die sich mengenden Luftmassen nicht mit Dünsten gesättigt, so entsteht nur dann ein sichtbarer Niederschlag, wenn die Spannkraft des Gemenges das der mittlern Temperatur entsprechende Maximum überschreitet. Auf diese Art bewirkt der kalte Nordostwind bei seinem Einbrechen in eine warme und feuchte Luft Nebel, Wolken und bringt selbst Regen. So entstehen beim Anlangen warmer, dunstreicher Südwinde in kältern Gegenden stets dichte Wolken. So entsteht ein Nebel, wenn ein feuchter Luftstrom über Gewässer, die kälter sind als die Luft, geht. — Der Nebel über den Gewässern, welcher vorzugsweise am Morgen zu sehen ist, entsteht dadurch, dass die Luft über den Gewässern zur Nachtzeit wärmer ist, als die über dem festen Lande; in Folge dieses Temperatur-Unterschiedes strömt die kältere Landluft über die Gewässer hin und mengt sich mit der wärmern; ist die Landluft an und für sich schon feucht, so tritt sicher eine Nebelbildung ein.

Die Nebel bestehen aus sehr feinen, in der Luft schwebenden Wassertröpfchen, welche durch den Widerstand der Luft am Herabfallen so lange gehindert werden, als sie eine gewisse Grösse nicht überschreiten.

Nach Kratzenstein ist das Fallen der Wassertröpfchen so verzögert, dass sie beim Herabfallen in der Luft nicht ganz zwei Fuss in der Secunde zurücklegen, weshalb schon ein schwacher Luftstrom, welcher mit der Geschwindigkeit von zwei Fuss aufsteigt, hinreicht, das Herabsinken derselben zu verhindern.

Ein grosser Widerstand der Luft gegen das Herabfallen kommt von den in die Höhe steigenden warmen Luftströmen, welche nicht nur ein Herabsinken der Wolken verhindern, sondern dieselben in desto grössere Höhen führen, je stärker der Erdboden erhitzt ist. Diese vom Erdboden aufsteigenden Luftströme bringen auch die Nebel zum Aufsteigen. In der Wolke wird das Aufsteigen auch dadurch veranlasst, dass die Luft, in welcher die Wolke schwebt, die Sonnenstrahlen nicht durchlässt, sich dadurch erwärmt, specifisch leichter wird, in die Höhe steigt und die Wolken mit sich hebt.

Beim Herabsinken kann eine Wolke, wenn sie in wärmere Luftschichten kommt, die noch nicht mit Dünsten gesättigt sind, wieder in unsichtbaren Wasserdunst aufgelöst werden. Dieses pflegt auch zu geschehen, wenn die Wolke von einem Windzuge über eine erhitzte Bodenfläche geführt und von dem warmen in die Höhe steigenden Luftstrome berührt wird. Dabei geht das Verschwinden der Wolke oft sehr schnell vor sich, weil jedes Wassertröpfchen an seiner ganzen Oberfläche verdunstet, daher seine geringe Masse gleich in unsichtbaren Dunst übergeht. Hingegen vergrössert sich eine Wolke, wenn sie über feuchte Wiesen, Wälder und bewaldete Thalschluchten geht, weil die aufsteigenden Luftströme viel Dünste mit sich bringen und neue Niederschläge hervorrufen.

Gegen Abend hört das Aufsteigen der warmen Luftströme auf, daher senken sich die Wolken und lösen sich oft in den wärmern Luftschichten auf, weshalb gegen Abend der Himmel am heitersten, die Aussicht von hohen Bergen am schönsten wird. Verschwinden am Abend die Wolken nicht, so ist das ein Zeichen, dass die untern Luftschichten mit Dünsten gesättigt sind.

In Hinsicht auf die Gestaltung und das äussere Aussehen der Wolken unterscheidet man nach Howard drei Hauptformen derselben: 1. Die Federwolken (cirrus) erscheinen als zarte, weisse, stets sehr hoch schwebende Streifen oder Fasern, oder als

krause Haarbüschel, zuweilen pinselförmig oder federartig. 2. Die Haufenwolke (cumulus) hat das Aussehen eines oben kugelförmig begrenzten, auf einer horizontalen Ebene ruhenden Berges; sie bildet in der warmen Jahreszeit besonders um die Mittagszeit grosse vielgestaltige Gruppen. 3. Die Schichtwolke (stratus) ist der an der Erdoberfläche erscheinende Nebel, der sich oft am Abend über Wiesen und Gewässern lagert und nach Sonnenaufgang wieder verschwindet.

Ferner unterscheidet man vier Nebenformen, welche theils als Uebergänge von einer Hauptform in die andere, oder als besondere Gruppirungen derselben erscheinen.

Solche Nebenformen sind: a) Die federige Haufenwolke (cirro-cumulus), welche aus einer Menge von kleinen gerundeten weissen Wölkchen besteht, die allgemein unter dem Namen Schäfchen bekannt sind. b) Die federige Schichtwolke (cirro-stratus) bildet gewöhnlich eine horizontale Schichte, welche in der Nähe des Horizontes als ein dichter, weit ausgedehnter Streifen erscheint. Sie hat geringere Dichte und Tiefe als die Schichtwolke. c) Die streifige oder gethürmte Schichtwolke (cumulo-stratus) entsteht aus der Haufenwolke, wenn diese dichter, dunkler und nach oben unregelmässig gestaltet wird. Diese, so wie die zweite Nebenform geht allmälig in eine dichte graue Nebelmasse über, ein dicht zusammenhängendes Ganze bildend, und heisst dann Regenwolke.

Die Färbung der Wolken hängt von der Lage derselben gegen die Sonne und gegen den Beobachter, so wie auch von ihrer Höhe und Dichte ab. In Rücksicht auf die Höhe schweben die Federwolken am höchsten, an 20,000 Fuss im Durchschnitt, über den höchsten Bergspitzen der Erde. Die Höhe der Haufenwolken beträgt im Durchschnitt 5000 Fuss; die Regenwolken stehen meist sehr tief, ihre Höhe wechselt zwischen 1200 und 5000 Fuss. Im Sommer werden die Wolken durch die aufsteigenden Luftströme höher geführt als im Winter.

Der Regen, Platzregen und Wolkenbruch. In allen Fällen sind die aus einer höher schwebenden Regenwolke herabfallenden Regentröpfchen anfänglich sehr klein, daher werden sie nicht selten in den untern wärmern Luftschichten, wenn diese noch nicht mit Dünsten ganz gesättigt sind, wieder in unsichtbaren

Dunst verwandelt, und gelangen gar nicht auf die Erde. Am leichtesten geschieht dieses unter Einwirkung eines trockenen Windes, der die Verdunstung sehr befördert.

Beim Herabfallen setzen sich an die aus höhern kältern Regionen kommenden Regentropfen, so wie an jeden kalten Körper, der in eine wärmere dunsthaltige Luft kommt, neue Niederschläge an, welche die Regentropfen vergrössern. Diese Vergrösserung wird um so bedeutender, je grösser die Fallhöhe, je grösser der Dunstgehalt und der Feuchtigkeitsgrad der untern Luftschichten, und je bedeutender endlich der Unterschied in der Temperatur der Wolken und der untern Luftschichten ist. Aus diesem Grunde sind die Regentropfen auf hohen Bergen viel kleiner als in den Thälern und in der Ebene. Auffallend klein werden die Regentropfen oft in der kalten Jahreszeit, wo die Luft unten nur wenig wärmer ist als die in der Wolkenhöhe; dann sind die Tropfen oft so klein, dass sie in der Luft schweben, jeder leisen Luftbewegung folgen, so dass der Regenschirm davor keinen Schutz gewähren kann.

Den in grossen Tropfen herabfallenden, gewöhnlich nur kurze Zeit dauernden Regen, nennt man Platzregen. In grössern Breiten kommt dieser nur in der warmen Jahreszeit vor.

Treibt der Wind eine Regenwolke gegen eine Berghöhe, so kann in Folge der Abkühlung der Luftmasse an der kalten Luft des Berges ein neuer Niederschlag ihrer Dünste bewirkt werden, durch den die Wasserkügelchen so sehr vergrössert werden, dass sie als Regentropfen herabfallen. Es können aber dabei auch mehrere Wasserkügelchen in eines zusammenfliessen, wo dann das Wasser der Wolke in grosser Menge und mit Heftigkeit herabstürzt. Einen solchen Regen nennt man einen Wolkenbruch. Häufiger entstehen Wolkenbrüche dadurch, dass die Wolkenmasse von zwei entgegengesetzten Winden erfasst und dabei zusammengedrückt wird.

Was den Gehalt des Regenwassers an fremden Substanzen anbelangt, so enthält es Spuren von Kalk, Bittererde, Kali, Eisen, Mangan, Salzsäure; nach einem Gewitter auch Salpetersäure, organische Stoffe, Blüthenstaub u. s. w. Der Blüthenstaub färbt, wenn er mit dem Regen in grösserer Menge herabfällt, den Erdboden gelb oder roth; daher der Glaube an Schwefel- und Blutregen entstanden ist.

Der Schnee. Die niedrige Temperatur der Region, in welcher Regenwolken oft schweben, vermag die Wassertröpfchen in Eiskrystalle zu verwandeln, welche als Schneeflocken herab fallen. Sind die untern Luftschichten warm, so schmelzen die Schneeflocken während des Fallens und kommen als Regentropfen herab; daher kommt es, dass es oft in der Ebene regnet, während es auf den Bergen schneit. — Thauen jedoch die Schneeflocken in den untern Luftschichten nicht vollständig auf, so sickern sie zu kleinen undurchsichtigen Klümpchen zusammen, und es entsteht der sogenannte Graupelregen. — Wenn nach einer anhaltenden Kälte ein Südwind in die obern Regionen eindringt, während er die untern noch nicht erreicht hat, so fallen aus den Wolken Regentropfen herab, die in den untern kältern Schichten zu kleinen durchsichtigen Eiskügelchen gefrieren. — Auch ein den Südwind verdrängender kalter Nordwind bringt diese Erscheinung mit sich.

Die Menge des Regens. Die Kenntniss der jährlichen Regenmenge und der Vertheilung derselben auf die einzelnen Jahreszeiten ist zur Beurtheilung der möglichen Vegetation und der klimatischen Verhältnisse eines Ortes nothwendig. Zur Bestimmung der Regenmenge bedient man sich gewisser Apparate, die man Ombrometer nennt. Die einfachste Form derselben besteht aus einem parallelopipedischen Gefässe, dessen Querschnitt genau einen Quadratfuss beträgt und auf welchen ein zweites von derselben Grösse aufgesetzt ist, das durch seinen trichterförmigen Boden dem untern Gefässe den herabfallenden Regen zuführt. An dem untern Gefässe wird gewöhnlich eine Wasserstandsröhre angebracht, um gleich von aussen die Wasserhöhe ablesen zu können. — Diese Apparate werden unter freiem Himmel aufgestellt und zeigen an, wie hoch die Wasserschichte des herabgefallenen Regens auf einer horizontalen Ebene wäre, falls es sich über dieser Ebene erhalten könnte, ohne in die Erde einzusickern oder zu verdunsten. Die Regenmenge, das ist die Anzahl der Kubikfuss Wasser, die auf eine horizontale Fläche herabgefallen ist, findet man damit, indem man die im Ombrometer gemessene Höhe der Wasserschichte in Fuss ausdrückt und mit der in Quadratschuh ausgedrückten dem Regen ausgesetzten Fläche multiplicirt.

Die monatliche oder die jährliche Regenmenge gibt man jedesmal dadurch an, dass man mit dem Ombrometer bestimmt, wie hoch der Boden von dem während eines Monats oder eines Jahres herabgefallenen Regen mit Wasser bedeckt werden würde, wenn sich das Wasser über dem Boden angesammelt hätte. Zu diesem Behufe bestimmt man den Wasserstand im Ombrometer Tag für Tag.

Die jährliche Regenmenge ist im Allgemeinen in solchen Gegenden grösser, deren Atmosphäre einen beträchtlicheren Wassergehalt besitzt, wie dies in warmen, wasserreichen Ländern der Fall ist. Locale Verhältnisse, insbesondere die Nähe des Meeres, herrschende Winde, Gebirgszüge und die Vegetation haben auf die Regenmenge Einfluss. Die Regenmenge ist überdies desto kleiner, je weiter ein Ort vom Aequator entfernt ist; ändert sich aber auch an einem und demselben Orte von Jahr zu Jahr oft sehr bedeutend, daher man die mittlere Regenmenge eines Ortes erst nach der Durchschnittszahl aus einer grössern Anzahl von Jahren bestimmen muss.

Die jährliche Regenmenge erscheint nicht gleichmässig auf die Jahreszeiten vertheilt. Bezüglich der Vertheilung der jährlichen Regenmenge kann man die Länder Europa's in drei Gruppen theilen: die erste umfasst Länder, wo die Sommerregen sehr selten sind, dahin gehören Italien, das südöstliche Frankreich und das südliche Portugal; die zweite umfasst Länder, wo im Herbste, und die dritte Länder, wo im Sommer die grösste Regenmenge niederfällt; zur zweiten gehören England, das westliche Frankreich und die Niederlande, zur dritten Deutschland, Dänemark und Schweden.

In tropischen Ländern, wo die Passatwinde wehen, unterscheidet man eine trockene und eine nasse Jahreszeit. Die nasse Jahreszeit tritt zur Zeit der Annäherung der Sonne an den Zenith, wo die Sonnenstrahlen die Erde stark erhitzen, eine lebhaftere Verdunstung der Gewässer und ein rasches Aufsteigen warmer Luftströme vom erhitzten Boden bewirken, ein. Diese Luftströme führen eine grosse Menge Dünste in grössere Höhen, wo in Folge der dort herrschenden niedern Temperatur starke Niederschläge entstehen, die in heftigen Regengüssen auf die Erde herabfallen. Die Regenzeit dauert in manchen Gegenden mehrere Wochen, in

andern mehrere Monate, doch dauert der Regen täglich meist nur einige Stunden vor und nach dem Mittage. Diese Regen sind am stärksten zur Zeit, wenn die Sonne im Zenith steht. In der trockenen Jahreszeit aber ist der Himmel fortwährend heiter und das Erscheinen einer Wolke eine Seltenheit.

In der Region der Calmen finden sich diese periodischen Regen nicht, dafür aber treten fast täglich um die Mittagszeit unter Blitz und Donner heftige Regengüsse auf.

Ströme von Gletscher-Eis. Eines der grossartigsten Naturphänomene bildet die langsame, unwiderstehliche Bewegung der ungeheuern Eismassen der Gletscher, welche von deu Schneefeldern oder Firnmeeren der Alpen durch die herabsteigenden Thäler fortrücken. Wie das Wasser folgen die Eismassen, wie eingegossen in die Tiefe der Thäler, allen Krümmungen und Erweiterungen des Thales. Laufen zwei Gletscher führende Thäler in ein Thal zusammen, so vereinigen sich die beiden Eisströme in einen gemeinsamen Hauptstrom; sie führen aber die Steindämme ihrer Seiten-Moränen auch vom Vereinigungspunkte fort, wodurch sich ihre Mittelmoräne bildet.

Das Eismeer von Chamouni, das grösste unter den Gletschern der Schweiz, sammelt sich von den Schneefeldern der unmittelbar nördlich vom Montblanc gelegenen Berge. Nach den Beobachtungen von Forbes und Tyndall rückt diese ungeheure Eismasse Stunde für Stunde etwa einen Zoll vor.

Die Erklärung dieser überraschenden Erscheinung, dass das Eis, der sprödeste und zerbrechlichste aller Körper, wie eine zähflüssige Masse die Eisströme erzeugen könne, brachte noch unlängst selbst die ersten Naturforscher in Verlegenheit.

Ein Gletscher ist eine Eismasse, welche überall mit Wasseradern durchrieselt ist. Ein Theil des frisch gefallenen Schnees schmilzt immer im warmen Sonnenschein, und auch die Oberfläche des Eises wird theilweise abgeschmolzen. Dieses Wasser hat aber die Temperatur von 0 Grad. Dieses Wasser sickert überall in die Eismasse und erhält das Innere derselben auf der Temperatur von 0 Grad.

Die Eigenschaft des Eises oder Schnees von 0 Grad, sich formen zu lassen, benützen selbst die Kinder, wenn sie Schneebälle und Schneemännchen machen. Was nun die Kinder im Kleinen thun, wenn sie Schneebälle machen, das geht im grossartigsten Maasse in den Gletschern vor sich.

Auch hat Tyndall zuerst durch Versuche nachgewiesen, dass sich ein fertiger Eisblock wie Wachs in jede beliebige Form hineinpressen lässt. Dabei wird das Eis nicht zermalmt, sondern es bekommt in seiner Masse Sprünge, welche aber gleich wieder zusammenfrieren, ähnlich wie wir auch zwei Eisstücke durch Zusammendrücken in der Hand zu einem Stück vereinigen können, indem sie durch das an der Berührungsstelle gefrierende Wasser gleichsam zusammengekittet werden.

Tyndall hat genau beobachtet, dass sich die Sprungflächen an den Stellen des grössten Druckes am deutlichsten bilden und dass sie durch das Flüssigwerden des Eises entstehen, und zwar in einer Richtung senkrecht gegen die Richtung des Druckes.

Das Gletschereis ist aber von Wasseradern durchdrungen; dadurch wird das Zusammenfrieren oder das Formen der beim Pressen gedrückten Eismassen um so leichter möglich, als nach der mechanischen Wärmetheorie der Gefrierpunkt des mitgepressten Wassers für je einen Atmosphärendruck um $^1/_{144}$ Grad Reaumur sinkt, so dass das Wasser flüssig bleibt, um beim geringsten Nachgeben des Druckes zu gefrieren und die Masse gleichförmig zu verschmelzen.

Uebrigens wird beim Zusammendrücken Arbeit verrichtet und muss Wärme dafür erzeugt werden; daher ist die Erscheinung der Abkühlung nur dadurch möglich, dass etwas Eis schmilzt und dabei der Umgebung etwas Wärme entzieht, die ausser der durch Druck entstandenen sich in latente Wärme des Wassers umsetzt.

Versuche lehren auch, dass sich eine aus Schnee gepresste Eismasse, wie die der Gletscher es ist, noch plastischer zeigt, als ein fertiger Eisblock.

Künstliche Eisbildung in Bengalen. Es werden flache Gruben gegraben und zum Theil mit Stroh angefüllt; auf dem Stroh werden flache, mit Wasser gefüllte Pfannen dem klaren nächtlichen Himmel ausgesetzt. Das Wasser ist ein kräftig strahlender Körper und strahlt viel Wärme in den Raum aus. Die dadurch verlorne Wärme kann durch die Erde nicht ersetzt werden, weil eine schlechtleitende Strohschichte dawischen liegt. Vor Sonnenaufgang erscheint in jedem Gefäss ein Eiskuchen.

§. 8. **Der Barometerstand und seine Aenderungen.** Der Druck der Atmosphäre gegen die Erdoberfläche hängt nicht nur vom Gewichte der darüber stehenden Luftsäule, sondern auch von der Spannkraft der Wasserdünste ab. Diesen ganzen Druck misst man durch den Barometerstand. Daher geben sich alle Aenderungen in der Masse der trockenen Luftsäule, so wie in der Spannkraft der Wasserdünste durch Aenderungen im Barometerstande zu erkennen.

In der drückenden Luftsäule treten Veränderungen auf, wenn vom erhitzten Boden warme Luftströme in die Höhe steigen, und daselbst in Folge ihrer grössern Expansivkraft in die kältere Nachbarschaft abfliessen. Durch dieses Abfliessen eines Theiles der Masse der Luftsäule wird der Bodendruck der Luft vermindert und der Barometer sinkt; während in der Nachbarschaft der Barometerstand grösser wird. Doch gleicht sich nach einiger Zeit dieser Unterschied aus, indem aus der Nachbarschaft die kalte

Luft gegen den wärmern Raum fliesst, daher dort der Barometer sinkt, während er in der wärmern Gegend wieder steigt.

Wird an einem Orte die Temperatur erniedrigt, so wird die Expansivkraft der Luftsäule vermindert, daher strömt in den obern Regionen die Luft von grösserer Expansivkraft in den abgekühlten Raum, und der Barometer steigt.

Diesen Temperaturänderungen entsprechen aber andererseits bestimmte Aenderungen in der Spannkraft der Wasserdünste der Atmosphäre. So bewirkt eine Erhöhung der Temperatur ein Steigen des Barometers, weil sie eine stärkere Dunstbildung und eine grössere Spannkraft der Wasserdünste zur Folge hat. Eine Verminderung der Temperatur bringt meist eine Abnahme der Dunstmasse, immer aber eine Verminderung der Spannkraft der Dünste mit sich, daher hat sie immer ein Sinken des Barometers zur Folge.

Aus dieser Betrachtung folgt, dass die Wirkungen, welche die Wasserdünste bei Temperaturänderungen hervorbringen, *entgegengesetzt* sind den Wirkungen, welche dieselben Aenderungen in der trockenen Luft erzeugen. Diese entgegengesetzten Wirkungen können sich entweder ausgleichen, oder aber es gewinnt nach Maassgabe des Dunstgehaltes die eine oder die andere die Oberhand.

Barometeränderungen, welche von den regelmässigen täglichen und jährlichen Aenderungen der Temperatur abhängen, heissen regelmässige oder *periodische* Aenderungen, weil sie sich in der Zeit eines Tages oder Jahres wiederholen. Diejenigen Aenderungen, welche gewissen Störungen des regelmässigen Ganges der Temperatur ihre Entstehung verdanken, heissen unregelmässige Aenderungen oder *Störungen*.

Das arithmetische Mittel der von Stunde zu Stunde während eines vollen Tages beobachteten Barometerstände ist der mittlere Barometerstand des betreffenden Tages oder das barometrische *Tagesmittel*. Die Summe der Tagesmittel eines Monates gibt durch 30 dividirt den mittlern Barometerstand des Monates, oder das barometrische Monatsmittel. Wird die Summe der 12 Monatsmittel durch 12 dividirt, so erhält man den mittlern *Barometerstand des Jahres*.

Um aber den Gang des täglichen, monatlichen oder des jährlichen Druckes der Luft allein zu bestimmen, muss man von den beobachteten Barometerständen noch die mittelst des Hygrometers bestimmte Spannkraft des Wasserdunstes abziehen.

Ueber die mittlere Spannkraft des Wasserdunstes und über den Barometerdruck der trockenen Atmosphäre hat die Beobachtung zu nachfolgenden Resultaten geführt. Das Minimum der mittlern Spannkraft tritt um 6 Uhr Morgens, das Maximum um 10 Uhr Abends; das Maximum des Druckes der trockenen Luft tritt gegen 8 Uhr Morgens ein, erhält sich einige Zeit unverändert und sinkt dann fort und fort, bis in der Zeit zwischen 4 und 6 Uhr Abends das Minimum des Luftdruckes eintritt. Der Grund, dass die Wendestunden des Luftdruckes erst nach den Wendestunden der Temperatur eintreten, liegt darin, dass das Aufsteigen der warmen Luftströme und das Abfliessen derselben in die Nachbarschaft immer einige Zeit erfordert.

Der gewöhnliche Barometerstand ist das Resultat des Zusammenwirkens dieser beiden Druckkräfte. In Folge dessen erreicht an allen Orten bis zu einer Breite von 79 Graden und einer Höhe von 2000 Klaftern über der Meeresfläche, die in den Verhältnissen des Seeklima's sich befinden, der Barometerstand zwischen $8^1/_2$ und $10^1/_2$ Uhr Vormittags und zwischen 9 und 11 Uhr Abends ein Maximum, dem ein Sinken nachfolgt, so dass zwischen 3 und 5 Uhr Morgens und zwischen 3 und 5 Uhr Abends ein Minimum eintritt. In den tropischen Gegenden, wo die stündlichen Schwankungen so regelmässig erfolgen, dass Alex. Humboldt den Ausspruch machte, dass man aus dem Barometerstande die Tageszeit bis auf eine Viertelstunde genau bestimmen könnte, sind auch die täglichen Aenderungen am grössten und betragen $2{\cdot}4^{mm}$; mit der Entfernung vom Aequator nimmt die tägliche Aenderung des Barometerstandes ab, und beträgt in Prag $0{\cdot}8^{mm}$ und in Petersburg nur mehr $0{\cdot}2^{mm}$.

In Hinsicht auf den jährlichen Gang des Barometerstandes erscheint der Druck der trockenen Luft ein Minimum zur Zeit der grössten Jahreswärme, wächst dann fort und wird einige Zeit nach der grössten Kälte im Jahre ein Maximum. Die mittlere Spannkraft der in der Atmosphäre befindlichen Wasserdünste befolgt den entgegengesetzten Gang.

Im Sommer ist der Einfluss der Spannkraft der Dünste auf die Barometeränderungen vorherrschend, im Winter der Druck der trockenen Atmosphäre. Daher ist in der gemässigten Zone der Barometerstand im Winter am grössten, erreicht im Februar sein Maximum, nimmt dann ab, und wird im April ein Minimum. Hierauf steigt der Barometer, erreicht im October sein zweites Maximum, worauf es im November noch etwas sinkt, um dann sich zum Winter-Maximum zu erheben.

Zwischen den Wendekreisen gibt es nur ein Minimum des Barometerstandes im heissesten Monat, worauf dann der Barometer beständig bis zum kältesten Monat steigt. Der Grund davon liegt darin, dass die durch die Luftwärme im Drucke der trockenen Luft bewirkte Aenderung stets grösser ist, als die im Drucke des atmosphärischen Dunstes durch dieselbe Wärme hervorgebrachte Barometeränderung.

So wie die Grösse der täglichen, so nimmt auch die der jährlichen Barometeränderungen vom Aequator gegen die Pole ab. Der mittlere Luftdruck des Jahres kommt beinahe dem mittlern Luftdrucke der Monate Juli und August gleich.

Der Barometer als Wetterprophet. Aus dem Bisherigen folgt, dass bedeutende Aenderungen im Barometerstande nur in Folge von starken Aenderungen der Temperatur und des Dunstgehaltes der Atmosphäre eintreten. Es sind aber eben diese Aenderungen, welche eine Veränderung in der Witterung mit sich bringen. Daher wird es möglich durch gehörige Abschätzung der Ursachen, aus welchen die Barometeränderungen entspringen, aus dem Barometerstande mit einiger Wahrscheinlichkeit auf die bevorstehende Witterung zu schliessen.

Ein bedeutendes Sinken des Barometers kann eine Folge von starken Niederschlägen der Dünste in der Atmosphäre sein, und wird als Vorbote einer nassen Witterung betrachtet. Diese kann jedoch auch ausbleiben, weil der entstandene Niederschlag nicht jedesmal bis zur Regenbildung verdichtet wird.

Ungewöhnlich rasches und starkes Fallen des Barometers wird als Zeichen einer grössern Störung des atmosphärischen Gleichgewichtes angesehen, und gilt daher als Vorbote eines heranbrechenden Sturmes.

Die Winde erzeugen starke Barometerschwankungen, weil sie bedeutende Aenderungen in dem Wärme- und Feuchtigkeitsgrade der Luft hervorrufen. In Europa tritt bei den kalten und trockenen Nordost- und Ostwinden, welche einen heitern Himmel zur Folge haben, der höchste Barometerstand ein, bei den warmen, feuchten Süd- und Westwinden hingegen aber der niedrigste. Doch ist diese Regel keine allgemein giltige, indem z. B. am Ausflusse des Laplata-Stromes in Amerika die warmen Nordwestwinde trockene Luft führen, einen heitern Himmel, aber nicht ein Steigen, sondern ein Sinken des Barometers bewirken; die kalten Südostwinde hingegen, bei denen das Barometer steigt, bringen gewöhnlich regnerisches Wetter.

Nach Leopold von Buch kann man mit Sicherheit nur dann auf regnerisches Wetter rechnen, wenn man nach jahrelangen fortgesetzten Beobachtungen den mittlern Barometerstand für jede Windesrichtung ermittelt hat, und wenn dann der Barometer unter diesen mittlern Stand sinkt, kommt Regenwetter.

§. 9. **Ueber den electrischen Zustand der Atmosphäre; Blitz, Gewitter, Hagel und Polarlicht.** Becquerel befestigte zur Untersuchung der Electricität in den Höhen einen sehr langen und feinen Golddraht mit einem Ende an ein empfindliches Electrometer, mit einem andern an einen Pfeil, welchen er mittelst eines Bogens abschoss. Saussure, Arago, Schübler und Andere bedienten sich zur Erforschung des electrischen Zustandes der Atmosphäre einer 8 bis 12 Zoll langen Stange, welche am obern Ende mit einem isolirten Fischbeinstäbchen, und dieses mit einer metallenen Spitze versehen war, an die ein glühender Schwamm, welcher die Electricität gut leitet, angesteckt wurde. Von der Spitze führte ein Metalldraht zu einem sehr empfindlichen Electroscop. — Aber auch mittelst eines papiernen Drachen, welchen man in die Höhe steigen lässt, wird es möglich den electrischen Zustand der höhern Luftregion zu untersuchen.

Mittelst der angeführten Apparate hat man gefunden, dass bei heiterem Himmel die Atmosphäre stets positiv, die Erde aber negativ electrisch ist. Kurz vor Sonnenaufgang ist die Stärke der Luftelectricität am geringsten, erreicht aber schon in einigen Stunden nach dem Sonnenaufgange ihren grössten Werth; nimmt darauf wieder ab und wird einige Stunden nach der Mittagszeit

ein Minimum, welches nur etwas höher ist als jenes am Morgen. Gegen Sonnenuntergang nimmt wieder die Stärke der Luftelectricität zu, erreicht ungefähr zwei Stunden nach Sonnenuntergang ihr zweites Maximum, worauf sie bis zum Morgen abnimmt, indem die feuchte Luft die Electricität zur Erde ableitet.

Bei heiterem Himmel besitzen die höher befindlichen Luftschichten eine stärkere Electricität als die der Erdoberfläche näher stehenden.

Nach Schübler's Beobachtungen ist die Luft auch bei trübem Wetter positiv, allein beim Regnen und Schneien ist sie bald positiv, bald negativ electrisch, so auch der herabfallende Niederschlag, der am häufigsten positiv bei Nordwinden, bei Südwinden hingegen negativ electrisch wird. Man kann gegenwärtig den Grund dieses Wechsels noch nicht angeben, es lässt sich nur vermuthen, dass die Aenderungen in der Temperatur von entscheidendem Einflusse sind.

Die Electricität einer Wolke erscheint an die Wasserkügelchen angewiesen und kann sich von Kügelchen zu Kügelchen nur langsam fortpflanzen, weil jedes Wasserkügelchen von Luft umgeben ist. Daher kann auch eine Wolke, welche einen Berg berührt, nicht die ganze Electricität durch Leitung an die Erde abgeben.

Gewitter. Geht die Bildung einer Wolke sehr rasch vor sich, so tritt die Spannung der Electricität mit solcher Kraft auf, dass ein Ueberspringen des electrischen Funkens oder des Blitzes möglich wird, weil die Electricität nicht so schnell entweichen kann. Ist die Wolke sehr dicht, so liegen die Wasserkügelchen sehr nahe an einander und man kann die ganze Wolke als einen zusammenhängenden Leiter betrachten, an dessen Oberfläche sich die freie Electricität der einzelnen Wasserkügelchen anhäuft und eine grosse Spannung erlangt, da diese Oberfläche bedeutend kleiner ist, als die Gesammtoberfläche sämmtlicher Wasserkügelchen. In der heissen Jahreszeit bilden sich solche dichte Wolken, an deren Oberfläche die Electricität mit so bedeutender Spannung auftritt, viel leichter als zu andern Jahreszeiten, weil bei einer und derselben Temperatur-Erniedrigung in warmer Luft bei grösserem Dunstgehalte eine viel grössere Menge Dunst tropfbar wird, als

bei gleicher Temperatur-Erniedrigung in einer kältern, wenn auch mit Dünsten gesättigten Luft.

Oertliche Ursachen, wie Feuchtigkeit und warme Lage des Erdbodens, können das Aufsteigen der Dunstmassen und damit die rasche Bildung von Gewitterwolken begünstigen. Weil zur Zeit der grössten Tageshitze der aufsteigende warme Luftstrom am meisten Dünste in die Wolken führt, so erscheinen die Gewitter meist in den ersten Nachmittagsstunden. Bei heiterem, windstillen Wetter und bei grosser Feuchtigkeit der Luft steigen namentlich in heissen Sommertagen Dunstmassen mit Lebhaftigkeit in die Höhe, wo sie Niederschläge bilden und das Gleichgewicht der Atmosphäre stören. Um dieses Gleichgewicht herzustellen, sinken kalte Luftmassen aus den Höhen an der Seite der aufwärts strömenden warmen herab und verursachen in der feuchten Atmosphäre eine rasche Bildung von Gewitterwolken, welche oft an Dicke und Dichte so stark zunehmen, dass sie ein ganz schwarzes Aussehen erhalten. Der starke electrische Zustand derselben ist oft schon in der Entfernung von mehr als einer halben Meile erkennbar. Der herabstürzende kalte Luftstrom ist von kurzer Dauer und wird mit einiger Wahrscheinlichkeit für die Ursache des Gewittersturmes, der aus der Gewitterwolke weht, angesehen.

Die Gewitter, welche von vulkanischen Ausbrüchen veranlasst werden, entstehen in Folge der Niederschläge, welche sich aus den hochaufsteigenden erhitzten Wasserdünsten in den kalten Regionen der Atmosphäre mit grosser Raschheit ausbilden.

Ausser der erwähnten Ursache können unter andern Gebirgsgewitter auch durch einen lebhaften Südwind entstehen, wenn dieser die warme dunsthaltige Luft gegen die Gebirgswand treibt und dort zum Aufsteigen in kältere höhere Regionen nöthigt.

Hat im Sommer der Süd- oder der Südwestwind durch längere Zeit angedauert, und dadurch den Dunstgehalt der Atmosphäre vergrössert, und bricht darauf der kalte Nordostwind in diese Atmosphäre herein, so entsteht anfänglich eine Windstille, die in uns die bekannte unangenehme Empfindung einer Gewitterschwüle veranlasst, die daher kommt, dass die mit Dünsten ge-

sättigte Luft die Ausdünstung des Körpers hemmt. Zugleich erfolgt eine rasche Bedeckuug des Himmels mit dichtem Gewölk und bald erscheint das Gewitter ausgebildet. Die unterdessen stattgefundene Drehung des Windes von Süd durch West nach Nordost gibt sich durch Steigen des Barometers während des Gewitters und durch Abkühlung der Atmosphäre nach dem Gewitter zu erkennen.

Es gibt aber auch Gewitter mit Blitz und Donner, bei welchen die gerade entgegengesetzten atmosphärischen Erscheinungen auftreten, wo nämlich der Barometer sinkt und die Atmosphäre nicht abgekühlt wird. Solche Gewitter ruft ein warmer Süd- oder Südwestwind bei seinem raschen Einbrechen in unsere kühlere Atmosphäre hervor. — Wintergewitter sind in grössern Breiten selten, sie kommen aber in Gegenden bei grosser Luftfeuchtigkeit vor, wenn nach einem anhaltenden warmen Südwind, der den Dunstgehalt der Atmosphäre sehr vermehrt hat, ein stürmischer Nord- oder Nordostwind sich einstellt.

Der Blitz. Seiner Natur nach ist der Blitz, wie zuerst B. Franklin mit seinem aufgestiegenen Drachen nachgewiesen hat, nichts Anderes als der electrische Funke einer Electrisirmaschine, er hat bald die Gestalt eines zickzackförmigen scharfbegrenzten Streifens von rother oder violetter Färbung, ganz ähnlich dem Entladungsfunken, der vom Conductor der Electrisirmaschine in einen Leiter überspringt, bald erscheint er als ein schwächeres bläuliches oder violettes Licht, welches das Gewölk erleuchtet. Letztere Art Blitz bringt das Wetterleuchten mit sich, indem er von Wolke zu Wolke übergeht und nicht wie die erstere Art meist zur Erde herabfährt.

Eine Gewitterwolke von so starker electrischer Spannung, dass aus ihr ein Blitz zur Erde hervorgehen kann, ruft in allen innerhalb ihrer Wirkungssphäre auf der Erde befindlichen guten Leitern eine Vertheilung der natürlichen Electricität hervor, indem sie die ungleichnamige Electricität anzieht, die gleichnamige aber abstösst. Verliert nun die Wolke durch eine plötzliche Entladung ihre Electricität, so vereinigen sich ebenso rasch auch die durch sie getrennt gewesenen ungleichnamigen Electricitäten in den guten Leitern der Erde. Stehen dieser Vereinigung auf dem

kürzesten Wege schlechte Leiter entgegen, so erfahren diese einen electrischen Schlag, der oft ganz wie der Wolkenblitz wirkt, und der Rückschlag genannt wird.

Die Luft, durch welche der Blitz fährt, wird in Folge der Gewalt der Verdichtung so erhitzt, dass sie brennbare Körper entzünden kann; daher die Feuersgefahr des einschlagenden Blitzes.

Der Blitzableiter. Um der durch Vertheilung der Electricität entstandenen Gefahr des Einschlagens des Blitzes durch eine allmälige Ausgleichung oder Neutralisirung der entgegengesetzten Electricitäten vorzubeugen, so wie um den in ein Gebäude thatsächlich einschlagenden Blitz unschädlich zur Erde weiter zu leiten, dienen die von B. Franklin erfundenen Blitzableiter. Der Hauptsache nach bestehen diese aus einer dicken, zugespitzten und an der Spitze vergoldeten Metallstange, Auffangstange genannt, und aus einem von der Stange ohne Unterbrechung in den feuchten Erdboden oder tief in einen benachbarten Brunnen führenden metallischen Leiter, der sogenannten Ableitungsstange.

Die Auffangstange, welche gewöhnlich aus Eisen besteht und zum Schutze gegen Verrostung an der wirkenden Spitze vergoldet sein soll, muss mehrere Fuss über die höchsten Theile des Gebäudes hervorragen; ihre Wirksamkeit soll sich nur auf einen Umfang erstrecken, dessen Halbmesser gleich ist der doppelten Höhe derselben. Aus diesem Grunde muss ein grösseres Gebäude mehrere Auffangstangen haben, welche mit einander in metallischer Verbindung stehen müssen, jedoch nimmt man für zwei Auffangstangen eine Ableitungsstange als hinreichend an. — Die Ableitungsstange verfertigt man gewöhnlich aus Eisen, am besten aber wäre für die Sicherheit durch einen Kupferstreifen oder noch besser durch ein Bündel kupferner Drähte gesorgt, damit nicht durch Verrostung eine isolirende Stelle sich in der Stange bilde. Ein Blitzableiter, bei welchem die Leitung irgendwie unterbrochen ist, wäre dem Gebäude nur zum Nachtheil, weil eine solche Stelle der Blitz überspringt und leicht einen andern Weg durch das Gebäude sucht, wobei er die schlechten Leiter zerstört.

Von der ununterbrochenen Leitung kann man sich aber nach Wagner's Vorschlag leicht überzeugen, wenn man die Auffangstange durch einen Metalldraht mit dem einen Pole einer galva-

nischen Kette, und das untere Ende der Leitstange mit dem andern Pole verbindet und an einem eingeschalteten Galvanometer die Ablenkung der Nadel untersucht; ist eine vollständige Unterbrechung vorhanden, so wird die Magnetnadel gar nicht abgelenkt.

Mit der Ableitungsstange müssen aber auch alle im Gebäude vorkommenden grössern Eisenmassen durch Kupferdrähte verbunden sein, damit nicht ein Theil des durch die Leitstange gehenden electrischen Stromes in Folge der Anziehung der in den Eisenmassen angesammelten Electricität in das Gebäude zu diesen Eisenmassen hin überspringe.

Die Hypothesen über die Bildung des Hagels. Nach dem gegenwärtigen Stande der Wissenschaft kann man die Ursache des Hagels noch nicht mit Bestimmtheit angeben. Kämtz geht bei seiner Erklärung von der Aehnlichkeit aus, welche zwischen den Erscheinungen bei Sommergewittern und bei Hagelschauern stattfindet, indem an den Tagen, wo der Hagel fällt, in der Atmosphäre meist eine grosse Ruhe herrscht, die Wolken am Himmel stille stehen, die Hitze gross und die Luft mit Dünsten beinahe gesättigt ist. Den Beobachtungen zufolge nimmt an solchen Tagen die Temperatur der Luft in verticaler Richtung nach aufwärts viel rascher ab, als es nach den gewöhnlichen Gesetzen geschehen sollte; daher steigen die warmen und feuchten Luftströme mit grosser Geschwindigkeit vertical aufwärts und gelangen in Höhen, wo ihre Dünste in Schneeflocken übergehen. Oertliche Umstände können das Aufsteigen der feuchten Luftmassen begünstigen, wie z. B. in eingeschlossenen Thälern, wo die Bergwände den aufsteigenden Strom gegen Seitenströme schützen. Kommen in jenen Regionen, wo sich aus den condensirten Dünsten Schneeflocken gebildet haben, andere Luftströme herbei, so entstehen durch die Vermehrung der Luftmassen von ungleicher Temperatur starke Niederschläge, wobei die kalten Luftmassen in die Tiefe sinken und dort neue Niederschläge hervorrufen. Gleichzeitig bilden sich durch diese Mengung der Luftmassen Wirbelwinde, welche die erst entstandenen Schneeflocken herumtreiben und zu grössern Massen zusammenballen. Die dadurch entstandenen Hagelkörner werden beim Herabfallen durch die untern Luftschichten, wenn iese sehr feucht sind, durch neue Niederschläge, die sich an

ihrer kalten Masse concentriren und gefrieren, stark vergrössert. So erscheint dann der in einer höhern Region entstandene undurchsichtige Schneekern mit einer Schichte gefrornen Wassers bedeckt, d. i. mit einer durchsichtigen Hülle umgeben. Zugleich entwickelt sich bei diesen raschen Niederschlägen eine grosse Menge von Electricität, welche als Blitz im Gefolge des Donners das Hagelwetter begleitet.

Die neuere Theorie der Hagelbildung von Fr. Mohr stützt sich auf die Thatsachen, dass in höhern Luftregionen die Temperatur sehr rasch abnimmt, und dass in einer Höhe von circa 18,000 Fuss das Volumen des gesättigten Wasserdunstes für die dort herrschende Temperatur und Druck 200,000 bis 300,000mal grösser ist, als das Volumen derselben Quantität tropfbar flüssigen Wassers.

In der Höhe von 19,500 Fuss fanden z. B. Barral und Bixio bei ihrer Luftfahrt die Temperatur von — 35° C., und in der Höhe von 21,000 Fuss die von — 39° C.

Tritt in diesen hohen Regionen eine Verdichtung von Wasserdunst ein, so muss wegen des grossen Dunstvolums eine ungeheure Volumverminderung stattfinden, so dass ein Kubikmeter Wasserdunst nur 3 bis $3^1/_2$ Kubikcentimeter Wasser gibt. Diese Volumverminderung des Wasserdunstes erzeugt eine Luftverdünnung, welche die eigentliche Ursache aller dieser Erscheinungen ist.

Nach Mohr kann der so entstandene luftverdünnte Raum nur von den Seiten und von oben ausgefüllt werden; denn diese Schichten haben dann eine grössere Expansivkraft, auch sind die obern kälter, stürzen mit Gewalt in den luftverdünnten Raum und veranlassen durch die hervorgebrachte Abkühlung neue Niederschläge und neuen Zutritt der obern kältern Luftmassen. Werden nun in das bereits zu Tröpfchen condensirte Wasser Luftschichten von der Temperatur — 35° C. hereingedrängt, so gefrieren nicht nur die einzelnen Tropfen, sondern es gefriert auch eine Menge Tropfen an einander. Das inmitten eines Luftstromes von solcher Kälte gebildete Eis kann noch 6 bis 8 Grade unter Null erkaltet sein und muss daher beim Durchfallen durch die niedern feuchten Schichten von aussen durch neue Niederschläge concentrisch wachsen.

Diese Erklärungsweise gibt auch ein deutliches Bild über den Zusammenhang der übrigen Erscheinungen, welche ein Hagelgewitter begleiten; so z. B. begreift man die Entstehung des kalten Sturmwindes, der sich zu der heissesten Tageszeit mit dem Hagel erhebt und diesen nach einer gewissen Richtung hintreibt.

Diese Erklärungsweise von Fr. Mohr unterscheidet sich von der voranstehenden, die Kämtz gegeben hat, wesentlich durch die Vorbedingung eines luftverdünnten Raumes und einer mächtigen Strömung der kalten Luft von höhern Regionen in die untere feuchte Atmosphäre.

Dass die bei der Condensation des Wasserdunstes in der Atmosphäre in den Raum, wo durch den eben entstandenen Niederschlag die Spannkraft, folglich auch der atmosphärische Druck vermindert wurde, hereinstürzende kältere Luftmasse der höhern Region eine bedeutende Rolle bei Hagelwetter spielt, das beweist die Erscheinung des kalten Hagelsturmes; aber auch die geographische Verbreitung spricht dafür. So ist der Hagel zwischen den Wendekreisen, wo die Atmosphäre bis zu einer grössern Höhe eine bedeutende Wärme besitzt, bis zu einer Höhe von 2000 Fuss über der Meeresfläche äusserst selten; dagegen kommt er zwischen dem 40. und 55. Breitegrade fast überall vor, so dass es nur wenige Gegenden dieser Breiten gibt, wo er örtlicher Verhältnisse wegen entweder äusserst selten oder gar nie vorkommt, wie z. B. in einigen Gegenden in der Schweiz. — Im hohen Norden ist wieder der Dunstgehalt der Atmosphäre zu klein, es bilden sich dort wohl Graupeln, aber keine eigentlichen Hagelkörner.

Die Erscheinung des Polarlichtes ist den Polargegenden eigenthümlich, und wird in der Gegend des Nordpols Nordlicht, in der des Südpols aber Südlicht genannt. Die Entstehung dieses Meteors wird von Alex. v. Humboldt ungefähr folgendermassen geschildert:

Man sieht gegen den Pol hin am Horizonte einen aschgrauen Nebel in der Gestalt eines Kreissegments 8 bis 10 Grad hoch sich erheben. Die Dichte dieses Nebels ist so gering, dass man durch denselben die hellfunkelnden Sterne mit freiem Auge sehen kann. Um diesen Nebel bildet sich ein lebhafter Lichtbogen von 1 bis 6 Vollmondsbreiten, dessen höchster Punkt nahe am magnetischen Meridian sich befindet. Die ganze Erscheinung senkt und hebt

sich, zieht sich hin und her, und erleidet merkliche, oft plötzlich eintretende Veränderungen in der Gestalt. Nach einigen Stunden steigt aus dem Lichtbogen mit Blitzesschnelle eine Lichtsäule empor, die sich manchmal bis zum Zenith des Ortes erhebt, und theilt sich oben in mehrere leuchtende Strahlen. Diese Lichtsäule ist meist mit schwarzen Streifen gemengt, sie verlängert und verkürzt sich, bewegt sich lange zwischen Osten und Westen hin und her, und verschwindet nach einigen Minuten, um einer andern Platz zu machen. Oft erheben sich gleichzeitig mehrere Lichtsäulen, endlich aus allen Stellen des Lichtbogens, ja selbst an vielen dem Bogen entgegengesetzt liegenden Punkten des Horizontes, so dass der ganze nördliche Himmel wie von zuckenden Flammen erfüllt erscheint. Nur an einer Stelle am Himmel, in der Nähe des Zeniths, herrscht fortwährend Ruhe. Dieser Ort liegt in der Verlängerung der Inclinationsnadel und wird als der ruhig stehende Vereinigungspunkt jener Lichtsäulen die Krone des Nordlichtes genannt. Allein nur selten bildet sich das Polarlicht bis zur Krone aus; entsteht aber die Krone, so wird das Strahlenschiessen schwächer, die Lichtsäulen werden immer kürzer, und nach einiger Zeit sieht man nur noch breite blassleuchtende Flecke am Himmel unregelmässig zerstreut; aber auch diese verschwinden, während das dunkle Segment, aus dem die ganze Erscheinung hervorgegangen ist, noch einige Zeit sichtbar erscheint.

Von dem Polarlichte wissen wir derzeit nur, dass es in der Erdatmosphäre sich entwickelt, weil es seine Lage gegen die Fixsterne ebenso wie alle andern Gegenstände am Horizonte verändert; wir sind aber nicht im Stande die Ursache seiner Entstehung auzugeben. — Am Morgen des Tages, an welchem zur Nachtzeit das Nordlicht erscheint, beobachtet man Unregelmässigkeiten im Gange der Mangetnadel, was eine Störung des Gleichgewichts des Erdmagnetismus anzeigt. Die Unruhe der Magnetnadel während des Nordlichtes beweist, dass der Erdmagnetismus an der Bildung des Polarlichtes lebhaften Antheil nimmt. Diesen Zusammenhang macht auch die Lage der Krone des Polarlichtes in der Richtung der Inclinationsnadel wahrscheinlich. Der Erdmagnetismus erlangt kurz vor dem Eintreten des Nordlichtes seine grösste Stärke; während der Erscheinung nimmt aber seine Stärke in dem Maasse ab, in welchem die Lebhaftigkeit des Nord-

lichtes wächst, und kommt allmälig auf die gewöhnliche Stärke zurück. Die Lichtsäulen, welche im Polarlichte vorkommen, haben grosse Aehnlichkeit mit den electrischen Lichtbüscheln, welche im luftverdünnten Raume beim Ueberströmen der Electricität von einem Pole zum andern zum Vorschein kommen.

Alex. v. Humboldt hält das Polarlicht für ein magnetisches Ungewitter, welches den Act der Wiederherstellung des durch unbekannte Ursachen gestörten Gleichgewichtes in der Vertheilung des Erdmagnetismus begleitet, wie der Blitz die Wiederherstellung des Gleichgewichtes in der Vertheilung der Electricität.

Die Wettersäulen. Die Wettersäulen werden von Wirbelwinden zur Zeit der von Blitz und Donner begleiteten Ungewitter gebildet, und daher von Einigen mit Unrecht zu den electrischen Erscheinungen gezählt, während es blosse Wirbel sind. Die über dem Wasser erscheinenden Wettersäulen nennt man Wasserhosen, die über dem Lande aber Land- oder Sandhosen. Die Wettersäulen haben bald die Gestalt eines geraden, bald die eines schiefen Doppelkegels, der dadurch entsteht, dass der Wirbelwind an der Oberfläche des Wassers eine Wassermasse zur Rotation bringt und in Form eines Kegels in die Höhe treibt, während er in der Verlängerung der Axe desselben einen ähnlichen nach abwärts gekehrten Kegel aus der Gewitterwolke dreht. Beide Kegel drehen sich mit grosser Geschwindigkeit um ihre Axe, während sie in der Richtung des herrschenden Windes fortschreiten. — Solche Wettersäulen pflegen auf dem Lande Bäume mit den Wurzeln auszureissen, Häuser abzudecken und die Dächer weit fortzutragen u. s. w. — Eine genügende Erklärung dieser Erscheinung fehlt noch.

§. 10. **Die Tageshelle und die Bläue des Himmels.** Das durch die Atmosphäre gehende Sonnenlicht kann nicht ganz ungehindert hindurch; ein kleiner Theil des Sonnenlichtes wird von der Luft an jeder Stelle, wo es ein Lufttheilchen trifft, nach allen Richtungen zerstreut, so dass ein Beobachter, wenn er am Tage sein Auge gegen das Himmelsgewölbe wendet, von allen Punkten desselben zerstreutes Licht erhält und ihm die ganze Atmosphäre von diesem zerstreuten Lichte erleuchtet erscheint.

Diese Erleuchtung der Atmosphäre ist die Ursache der Tageshelle, die uns in den Stand setzt, zur Tageszeit auch an solchen Orten hell und deutlich zu sehen, wohin kein directes Sonnenlicht gelangt. Auch bewirkt diese Tageshelle, dass wir die leuchtenden Gestirne am Tage nicht sehen. Diese Wirkung vermag jedoch auch das Mondeslicht hervorzubringen, indem es zur Zeit des Vollmondes die Atmosphäre oft so stark erhellt, dass nur wenige Sterne mehr am Himmel sichtbar werden.

Die in der Atmosphäre schwebenden Wassertröpfchen, so wie Staub und lichter Rauch schwächen die Durchsichtigkeit der Luft und vermehren die Tageshelle, so lange ihre Massen nicht zu dicht sind. In der Ebene erscheinen die schattigen Orte von der mit viel Dünsten gemengten Luft viel heller erleuchtet, als auf hohen Bergen, wo die Luft reiner ist und weniger Licht nach allen Richtungen zu zerstreuen vermag.

So wie das Licht, welches an der Oberfläche eines Körpers zerstreut wird, in unserem Gesichtsorgan nebst der Wahrnehmung des Körpers selbst auch dessen natürliche Farbe zeigt, so zeigt das von den Lufttheilchen zerstreute Licht so zu sagen die Farbe der Atmosphäre, oder besser gesagt, die Atmosphäre erscheint in ihrer Abgrenzung als Himmelsgewölbe in der Farbe des von den Lufttheilchen zerstreuten und in unser Auge zurückgeworfenen Lichtes. Weil das Himmelsgewölbe blau erscheint, so schliesst man, dass die Luft die Eigenschaft hat, von den durchgehenden Sonnenstrahlen vorzugsweise das blaue Licht zu zerstreuen. Diese Eigenschaft der Luft hält man für die Ursache der Bläue des Himmels. Die blaue Färbung der entfernten Wälder und Berge rührt aber nach Tyndall vom Wasserdunst her, welcher die bläulichen Strahlen durchlässt.

Die Wassertröpfchen, welche als Nebel in der Luft schweben, werfen vorzugsweise weisses Licht zurück, daher mengen sie dem blauen Lichte der Atmosphäre auch weisses Licht bei; dadurch wird das Aussehen des Himmelsgewölbes desto mehr weisslich, je mehr Nebel in der Luft schwebt. In der Nähe des Horizontes, wo grössere Staub- und Nebelmassen in der Atmosphäre enthalten sind, vereinigt sich die Wirkung beider, so dass die Atmosphäre in der Nähe des Horizontes am meisten weisses Licht hat. — Beim Besteigen bedeutender Bergeshöhen lassen wir die untern Luft-

schichten gefüllt mit Staub- und Nebelmassen hinter uns, wir sehen, in die Höhe blickend, durch eine reinere Atmosphäre, daher verschwindet jene starke Beimengung des reflectirten weissen Lichtes, und das Himmelsgewölbe erscheint uns mehr in seiner natürlichen tiefblauen Färbung. Nach den Untersuchungen von M. Schlagintweit nimmt die tiefblaue Färbung in der Höhe von 6000 bis 10,000 Fuss Höhe rasch zu.

In der Nähe des Horizontes erscheint das Himmelsgewölbe nicht blos weisslich, sondern auch schwächer erleuchtet, als in der Nähe des Zeniths, daher scheint das Himmelsgewölbe am Horizonte weiter vom Beobachter entfernt, als im Zenithe. Es bietet daher das Himmelsgewölbe ein Aussehen, als wenn es am Zenith eingedrückt, und am Horizont von uns hinweggerückt wäre. Daher kommt die Täuschung, dass ein Stern, welcher nicht um 45°, sondern nur um 23° vom Horizonte entfernt ist, in der Mitte zwischen dem Horizonte und dem Zenithe zu sein scheint. Hingegen erscheint uns ein Stern, welcher in der That um 45° vom Horizonte absteht, dem Zenithe viel näher gerückt. Aus diesem Grunde sehen wir also die Sterne am Himmel nicht an ihrem wahren Orte, denn sie erscheinen uns sämmtlich dem Zenithe näher zu stehen, als sie es in der That sind.

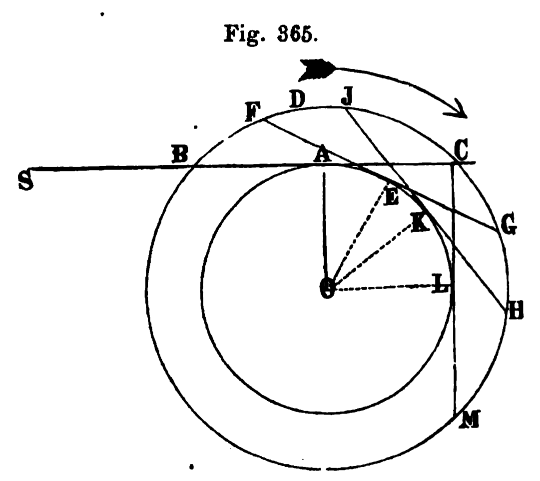
Das Licht des blauen Himmelsgewölbes ist, wie zuerst Arago nachgewiesen hat, theilweise polarisirt, und zwar in einer Ebene, welche durch den Ort des Beobachters, durch den betrachteten Punkt am Himmel und durch die Sonne geht. Richtet man das Nicol'sche Prisma auf den Polarstern, so geht die Polarisationsebene durch die Weltaxe und die Sonne. Man kann daher durch Drehung des Prisma's die Lage der Polarisationsebene und dadurch den Stand der Sonne am Himmel auch dann angeben, wenn die Sonne selbst nicht zu sehen ist, d. h. man kann mit dem Nicol'schen Prisma die Tagesstunde so genau wie mit einer Sonnenuhr angeben. Nach diesem Principe hat Wheatstone seine Polaruhr construirt.

§. 11. Die Dämmerung und das nächtliche Funkeln der Sterne.

1. Die Sonne erleuchtet des Abends, nachdem sie schon im Westen unter den Horizont getreten ist, noch immer die über dem Horizonte des Beobachters befindliche Luftmasse *BCD* (Fig. 358). Diese erleuchtete Atmosphäre verbreitet dann eine gewisse Helligkeit über dem Horizont, so dass es noch immer möglich ist, grössere Gegenstände mit Deutlichkeit zu unterscheiden. Man

nennt diese Helligkeit die **Dämmerung**; sie wird immer schwächer und verschwindet endlich ganz, sobald in Folge der Axendrehung der Erde der Ort A gegen **Osten** so weit fortgerückt erscheint, dass sein Horizont, der sich dabei im Westen stets erhebt, aus dem noch beleuchteten Theile der Atmosphäre im Westen herausgetreten ist.

Fig. 365.



Stellen wir uns in der vorstehenden Figur die Axendrehung von West nach Ost durch eine mit dem Zeiger der Uhr übereinstimmende Drehung versinnlicht vor, so rückt der Ort A bei der Axendrehung nach E und sein Horizont erhält die neue Lage FG, bei welcher der östliche Theil ACG seiner Atmosphäre in den Schatten zu liegen kommt, während nur noch der westliche Theil ACF von den Sonnenstrahlen erleuchtet erscheint. Bei weiterer Drehung kommt der Ort nach K und sein Horizont ist bis auf den kleinen Theil CJ aus der erleuchteten Atmosphäre herausgetreten, während der grössere Theil desselben bereits im Schatten liegt, d. h. die Dämmerung hat an Helligkeit bedeutend abgenommen. Endlich aber verschwindet die Dämmerung ganz und macht der Nacht Platz, wenn der Ort in eine Lage L gekommen ist, bei welcher sein Horizont bereits so weit nach Osten gerückt ist, dass er ganz ausser der beleuchteten Atmosphäre steht.

In dieser Weise steigt nach Sonnenuntergang, von Osten her, wohin unser Horizont sich dreht, die Finsterniss herauf, während im Westen, wo sich der Horizont bei der Drehung mehr und mehr hebt, die erleuchtete Atmosphäre und mit ihr die Helligkeit der Dämmerung immer mehr verschwindet, bis sie endlich der Nacht Platz macht. Diese Dämmerung nach Sonnenuntergang nennt man **Abenddämmerung**.

Dieselbe Erscheinung, aber in entgegengesetzter Reihenfolge der Helligkeit, tritt vor Sonnenaufgang auf, indem der Horizont des Beobachters allmälig in die erleuchtete Atmosphäre wieder eintritt, bevor noch die Sonne im Osten über dem Horizonte erscheint. Wir können uns also die Erscheinung der Morgendämmerung auch in der Figur 365 versinnlichen, indem wir die frühern Positionen des Horizontes gegen die erleuchtete Atmosphäre in umgekehrter Ordnung aufeinander folgen lassen, und wir erkennen, dass diese Erscheinung dieselbe ist, als würde sich nach dem Aufhören der Abenddämmerung die Drehung in umgekehrter Ordnung, wobei der Ort aus der Lage *L* in die Lagen *K* und *A* käme, wiederholen.

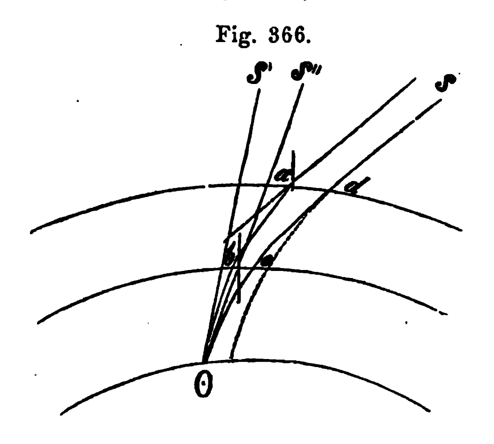
Die Stärke der Helligkeit während der Dämmerung richtet sich nach dem Zustande der Atmosphäre; enthält diese eine grössere Menge Nebel, so wird eine grössere Menge Sonnenstrahlen reflectirt und die Helligkeit verstärkt; schweben die Nebel in einer bedeutenden Höhe, so reflectiren sie noch viel Licht, wenn die Sonne schon tief unter dem Horizonte steht. Dadurch wird die Dämmerung nicht nur heller, sondern auch ihre Dauer erscheint länger. In Italien und im Innern von Afrika hingegen, wo der Himmel gewöhnlich sehr rein ist, erscheint die Abenddämmerung nicht nur kurz, sondern es tritt auch eine tiefere Dunkelheit ein.

2. Sobald die Beleuchtung der Atmosphäre durch die Sonnenstrahlen nach der Abenddämmerung aufhört, bricht bei heiterem klaren Himmel die sternenhelle Nacht ein, in der die erhabene Ruhe des Sternenhimmels durch das Funkeln der Fixsterne noch an Pracht gewinnt.

Zu der Erscheinung des nächtlichen Funkelns oder der Scintillation der Sterne rechnet man kleine Veränderungen des Ortes derselben, sowie die Aenderungen in der Stärke und Farbe ihres Lichtes. Die ungleiche Brechung der von einem Fixsterne kommenden Lichtstrahlen in der Atmosphäre ist die Ursache einer scheinbaren kleinen Ortsänderung. Eine solche Ablenkung der Lichtstrahlen von dem geradlinigen Wege wird besonders dann in der Atmosphäre auftreten, wenn diese aus Luft und Dunstschichten von ungleicher Temperatur, von verschiedener Dichte und Feuchtigkeit besteht.

Um diesen Vorgang zu versinnlichen, denken wir uns einen Lichtstrahl (Fig. 366), welcher vom Fixsterne S kommt, und durch eine Atmosphäre von ungleich dichten Schichten in unser Auge gelangt. Würde die Atmosphäre von ihrer äussersten Grenze bis zur Erdoberfläche gleichförmig an Dichte zunehmen, so müsste der Lichtstrahl in Folge der allmäligen Brechung einen gleichmässig schwach gekrümmten Weg abO in der Atmosphäre zurücklegen und so in unser Auge treffen, als befinde sich der Stern am Orte S' am Himmel. Bei unveränderter Atmosphäre müsste der Stern diese scheinbare Ortslage behalten.

Fig. 366.



Nehmen wir aber an, dass in dem nachfolgenden Augenblicke die Luftschichte bei b durch eine feuchtere ersetzt wird, so wird auch der hindurchgehende Lichtstrahl eine andere Brechung erleiden und das Auge nicht mehr treffen, während ein zweiter Strahl von demselben Stern bei seiner veränderten Bahn jetzt in unser Auge gelangt, z. B. der in der krummen Bahn deO gebrochene Strahl. Das Auge erblickt dann den Stern in der Verlängerung der Tangente dieser neuen Bahn, so, als befände er sich an einem anderen Orte am Himmel im Punkte S''.

Weil der Unterschied in der Brechung der Lichtstrahlen nur klein sein kann, so ist die scheinbare Ortsänderung nur sehr gering, so dass sie bei einem Körper von einiger scheinbaren Ausdehnung im Vergleich zu dieser Ausdehnung für das Auge verschwindet, während ein Körper, der wie ein Fixstern als blosser Lichtpunkt erscheint, eine wahrnehmbare Ortsänderung erleidet. Aus diesem Grunde bemerken wir aber eine Scintillation an Fixsternen, an grossen Planeten aber keine.

Die Stärke des Funkelns scheint übrigens von der den Fixsternen eigenthümlichen Natur ihres Lichtes abzuhängen, da z. B. Vega mehr scintillirt als Arctur. Diese Erscheinung ist aber,

wie obige Betrachtung ersichtlich macht, wesentlich von dem Zustande der Atmosphäre abhängig. So findet nach Alex. v. Humboldt zwischen den Wendekreisen und in ihrer Nähe 12 bis 15° über dem Horizonte wegen der gleichmässigen Mischungen der Luftschichten kein Funkeln der Sterne mehr statt, was dem Himmel die Erscheinung einer besondern Ruhe verleiht. Vor dem Eintritte der Regenzeit beobachtete Humboldt jedoch selbst in diesen Gegenden und in grossen Höhen über dem Horizonte eine Scintillation der Sterne.

§. 12. **Morgen- nnd Abendröthe.** Aus seinen Beobachtungen am Dampfkessel schloss Forbes, dass der Dampf auf einer gewissen Stufe der Verdichtung die Eigenschaft besitzt, die orangefarbigen Strahlen besonders durchzulassen und erklärte daraus die Morgen- und Abendröthe.

Die von Forbes beobachtete Erscheinung besteht im Folgenden. Forbes beobachtete durch den aus dem Sicherheitsventil eines Dampfkessels ausströmenden Dampf das Licht einer Laterne und fand, dass der Dampf nahe an der Ausflussöffnung vollkommen durchsichtig und farblos war, während einige Zoll höher das Licht, durch den Dampf gesehen, orangegelb erschien. Diese Farbe nahm bis zu einer Höhe von 20 Zoll schnell an Tiefe zu; noch höher erscheint der Dampf schon verdichtet und ist durschscheinend und wieder farblos; wird aber bei beträchtlicher Dichte und Dicke ganz undurchsichtig.

Mit dieser Thatsache vergleicht Forbes den Vorgang in der Atmosphäre. In der Zeit vor Sonnenuntergang geht die Abkühlung der Erdoberfläche und der untersten Luftschichten schnell vor sich, und dadurch kommt der atmosphärische Dunst in den Uebergangszustand von seinem ausdehnsamen in seinen zu Wassertropfen verdichteten Zustand. In diesem Uebergangszustande muss er nach der Beobachtung am Dampfkessel vorzugsweise die orangegelben Farben durchlassen. Ausserdem senken sich gegen Abend die Wolken in die untern wärmern Luftschichten, und im Falle sie sich hier allmälig in unsichtbaren Dunst auflösen, befinden sie sich auch in einem solchen Uebergangszustand, und begünstigen die Entstehung der Abendröthe, die vorzugsweise am Abendhimmel auftritt. Desgleichen zeigen die Dünste bei ihrem umgekehrten Uebergangszustande von dem condensirten in den luftförmigen

Zustand dieselbe Erscheinung im Lichte der im Osten aufgehenden Sonne, und so entsteht die Morgenröthe, welche auf den östlichen Himmel beschränkt ist, indem hier die zum Uebergangszustand erforderliche Erwärmung zunächst stattfindet.

Eine starke Morgenröthe wird als Vorbote baldigen Regens angesehen. Nach der Erklärung von Forbes zeigt nämlich dieselbe an, dass in der Atmosphäre die Dünste nahe daran sind, in dichte Nebel überzugehen, so dass am Tage durch das Hinzutreten neuer Dunstmassen und durch ihr Aufsteigen in höhere kältere Luftregionen die Bildung von Wolken und die Verdichtung derselben zu Regen stattfinden kann.

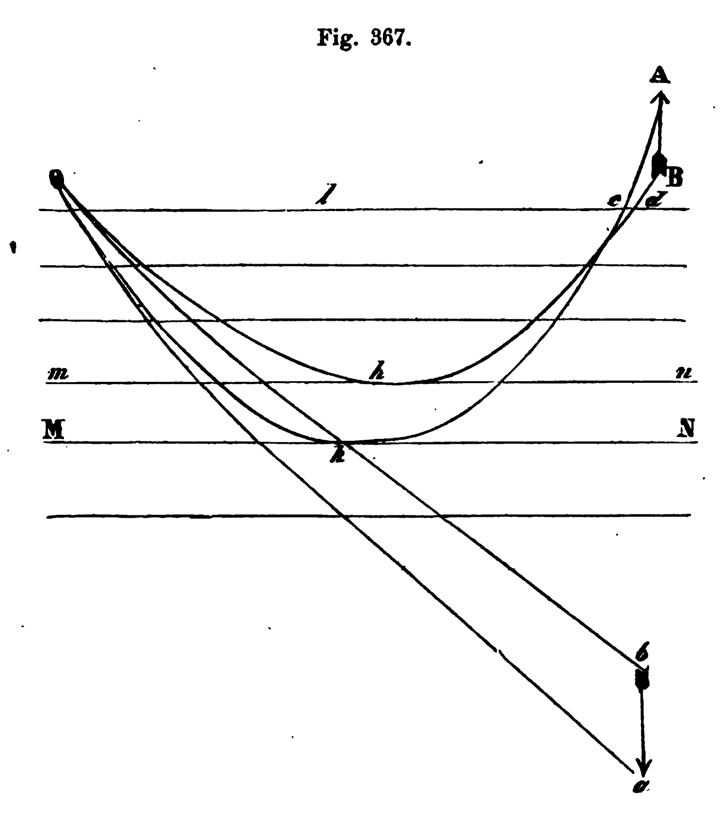
Nach der Ansicht von dem bekannten Physiker R. Clausius ist in dem hier genannten Uebergangszustande die Luft bereits mit Nebelbläschen erfüllt, die aber eine solche Feinheit besitzen, dass das Licht beim Durchgang durch dieselben in Folge einer Interferenz, wie bei dünnen Plättchen, eine orangegelbe und röthliche Färbung annimmt. Bei einer grössern Dicke der Nebelbläschen geben diese der Reihe nach die Farben der Newtonschen Ringe im durchgehenden Lichte. Diese Farben mischen sich, das Orange wird immer undeutlicher, und endlich entsteht bei grosser Menge von Nebelbläschen und bei erforderlicher Dicke derselben eine so vollständige Mischung, dass sich die Farben wieder zu Weiss ausgleichen.

§. 13. **Die Luftspiegelung.** Bilder von entfernten Gegenständen, welche die Luft in Folge der allmäligen Brechung und einer totalen Reflexion dem Auge wie in einer spiegelnden Fläche erscheinen lässt, nennt man Luftbilder und den physikalischen Vorgang dieser Erscheinung die Luftspiegelung.

a) Ueber einem ausgedehnten stark erhitzten Boden bilden sich bei andauernder Ruhe in der Atmosphäre Luftschichten (Fig. 367), deren Dichte zunächst über dem Boden am kleinsten ist, und von da bis zu einer kleinen Höhe schnell zunimmt, bis dann weiter oben die gewöhnliche Luftdichte herrscht. Gelangen in die über dem Boden liegenden, in ihrer Dichte nach unten schnell abnehmenden Luftschichten von einem erhabenen, entfernten Gegenstande *AB* Lichtstrahlen *Ac* und *Bd*, so werden sie bei dem tiefern Eindringen immer mehr vom Einfallslothe gebrochen

und beschreiben daher eine krumme Bahn, deren convexe Seite dem Boden zugekehrt ist.

Fig. 367.



Der vom Punkte A einfallende Lichtstrahl muss in Folge der sich vom Boden allmälig abwendenden Richtung seiner Bahn in einer Luftschichte MN unter einem so kleinen Winkel bei k auffallen, dass er daselbst eine totale Reflexion erleidet, sich wieder in krummer Bahn nach aufwärts wendet, indem er nun in dichtere Schichten kommend immer mehr zum Einfallslothe gebrochen wird. So gelangt der von A ausgegangene Lichtstrahl auf dem bogenförmigen Wege $AckO$ in das Auge, welches sich im Punkte O befinden soll. Der Beobachter sieht daher diesen Punkt A in der Richtung der Tangente Oa dieser Bahn in einem Punkte a. Auf gleiche Weise gelangt ein von dem untern Ende des Gegenstandes AB ausgehender Lichtstrahl Bd auf der krummen Bahn

BdhO nach seiner totalen Reflexion im Punkte *h* in das Auge *O*, und erzeugt in der Tangente *Ob* dieser Bahn den Eindruck des Bildes *b*. Das Auge sieht also ähnlich wie bei einer spiegelnden Fläche das Bild des Gegenstandes hinter den reflectirenden Luftschichten *MN* und *mn*, und zwar in umgekehrter Stellung, so wie wenn sich der Gegenstand im Wasser abspiegeln würde.

Der Umstand, dass wegen der angegebenen Dichtigkeitsverhältnisse die Lichtstrahlen von Gegenständen, die sich in der Nähe des Beobachters und des Bodens befinden, nicht in das Auge gelangen können, so dass in der Nähe des Bildes die Niederungen des Bodens nicht wahrgenommen werden, macht den Eindruck der Luftspiegelung bis zur Täuschung dem von einem Wasserspiegel erzeugten Bilde gleich. Dazu kommt noch der Umstand, dass schwache Luftströmungen das Bild in eine schwankende Bewegung versetzen, und dass man die Niederungen des Bodens in Folge der Reflexion der Strahlen an den dunsthaltigen Luftschichten wie von einer wellenschlagenden grauen Wassermasse gleichsam überschwemmt sieht.

Diese Luftspiegelung beobachtet man an sehr heissen Sommertagen in den Ebenen Ungarns, dann in Egypten, wo diese Erscheinung zum esten Male studirt worden ist, nachdem sie den ermüdeten französischen Soldaten durch Vorspiegelung nahe stehender Gewässer manche Enttäuschung verursacht hatte. Bekannt ist diese Erscheinung auch in der arabischen und persischen Wüste und führt dort den Namen Serab. Die Franzosen nannten sie in Aegypten mirage.

b) Eine andere Art Luftspiegelung beobachtet man auf dem Meere bei sehr ruhigem Wetter, wenn entweder das Wasser viel kälter ist als die Luft, oder wenn durch lange dauernden Schatten einer Gebirgswand der an der Sonne liegende Theil der über einem See befindlichen Luft erwärmt wird, während die angrenzende im Schatten der Bergwand befindliche Luft kalt geblieben ist.

Denken wir uns den ersten einfacheren Fall, wo das Wasser viel kälter ist als die Luft, und nehmen wir an, dass in diesem Falle, wie dies bei ruhigem Wetter oft geschieht, die Dichte der Luft von unten nach oben viel rascher abnimmt, als beim gewöhn-

lichen Zustande der Atmosphäre. Der Vorgang ist in diesem Falle ganz derselben Natur, wie der in Figur 360 betrachtete, nur erfolgt hier jene rasche Abnahme der Dichte nicht von oben nach unten, sondern in der umgekehrten Richtung, also genau so, als wenn wir mit Beibehaltung der mit der Figur 367 verknüpften Vorstellung der Dichte die Figur in umgekehrter Stellung betrachten. Nun liegt der Gegenstand *h* unten, die Lichtstrahlen beschreiben dieselben krummen, aber mit der concaven Seite zum Erdboden gekehrten Bahnen und bringen ein verkehrtes Bild in den höhern Luftschichten zur Wahrnehmung.

Bei letzterer Luftspiegelung kann es geschehen, dass man nur das Bild, aber nicht den Gegenstand mit den Augen wahrnimmt, weil sich der Gegenstand auch unter dem Horizonte des Beobachters oder hinter einem Berge befinden kann, indem die im Bogen gehenden Lichtstrahlen selbst über Bergrücken herüber gelangen können. Oft sind die Grenzen der Luftschichten nicht in allen Theilen gleich dicht oder auch durch Luftströmungen verschieden gekrümmt, so dass die Luftbilder verzerrt erscheinen, wie dies an der Küste von Sicilien bei der als Fata morgana bekannten Luftspiegelung der Fall ist.

§. 14. **Der Regenbogen.** Befindet sich bei einem sanften Regen der Regenwolke gegenüber am Himmel die Sonne, so tritt oft der Fall ein, dass man über dem Horizonte einen die Regenwolke überspannenden breiten, kreisförmigen Bogen sieht, der die prismatischen Farben in schönster Pracht zeigt. Häufig erblickt man über diesem noch einen zweiten Farbenbogen von schwächerm Glanze. Der näher am Horizonte stehende Farbenbogen ist der Hauptregenbogen, dessen unterer Rand violett, der obere Rand aber roth erscheint; der höher stehende mattere Farbenbogen ist der Nebenregenbogen, dessen unterer Rand roth, der obere Rand aber violett erscheint. — Einen Regenbogen kann jedoch nicht nur die Sonne, sondern auch der Mond erzeugen, jedoch ist der Regenbogen des Mondes stets sehr matt.

1. Der Hauptregenbogen. Zur Entstehung eines Regenbogens ist vor Allem das Vorhandensein einer Regenwolke, aus welcher Regentropfen herabfallen und von der gegenüberstehenden Sonne beleuchtet werden, nothwendig. Parallele Sonnenstrahlen treffen den kugelförmigen Regentropfen und beleuchten die der

Sonne zugewendete Seite desselben. Die in der Richtung des Mittelpunktes des Tropfens auffallenden Sonnenstrahlen gehen ungebrochen hindurch; aber ein den Tropfen in der obern Hälfte treffender Strahl *Sm* (Fig. 368), der unter dem Winkel α einfällt, wird im Wassertropfen unter dem Winkel β zum Einfallslothe gebrochen

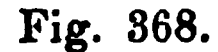
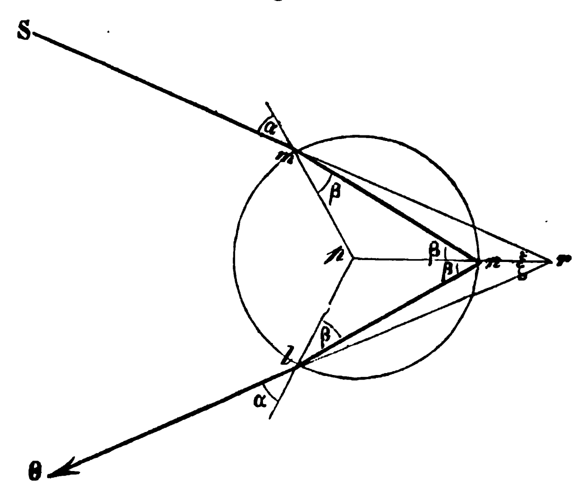


Fig. 368.



und erhält die Richtung *mn;* im Punkte *n* tritt ein Theil des Strahles heraus, während der andere Theil nach dem bekannten Gesetze in der Richtung *nl* reflectirt wird. Im Punkte *l* wird wieder ein Theil des dahin gelangenden Lichtstrahles reflectirt, während der andere Theil in der Richtung *lO* unter dem Brechungswinkel α wieder heraustritt, und von dem im Punkte *O* befindlichen Auge wahrgenommen wird.

Verlängert man die Richtungen des einfallenden Lichtstrahles *Sm* und des austretenden *Ol,* so schneiden sie sich in einem Punkte *r;* der austretende gebrochene Strahl bildet mit dem einfallenden den Winkel $mrl = \delta$.

Um die Grösse des Neigungswinkel $\delta = \varepsilon + \zeta$ zu bestimmen, bedenkt man, dass nach den Gesetzen der Brechung und Reflexion die in der Figur mit β bezeichneten Winkel unter einander, und die mit α bezeichneten unter einander gleich sind. Daraus ergibt sich mit Rücksicht auf die Gleichheit der Halbmesser die Congruenz der Dreiecke *mnp* und *lnp,* und daraus die weitere

Congruenz der Dreiecke *mrp* und *lrp*; daraus folgt, dass die Linie *pr* mit der Linie *pn* zusammenfällt und dass die Winkel ε und ζ einander gleich sind. Und nun der Winkel β als äusserer Winkel des Dreieckes *mnr* gleich

$$\beta = \varepsilon + \alpha - \beta, \text{ oder nach Dreieck } lnr$$

$$\beta = \zeta + \alpha - \beta,$$

folglich ist der Ablenkungswinkel

$$\delta = \varepsilon + \zeta = 4\beta - 2\alpha.$$

Nun lässt sich nach dem Brechungsgesetze $\sin \alpha = n \cdot \sin \beta$ für jeden Einfallswinkel α der entsprechende Brechungswinkel β berechnen, indem man für Wasser den mittlern Brechungsexponenten $n = 1{\cdot}33$ setzt. Wird der Brechungswinkel β für verschiedene α berechnet und dann der Neigungswinkel δ gesucht, so erhält man verschiedene Werthe für δ, d. h. die parallel auf den Wassertropfen auffallenden Sonnenstrahlen treten aus dem Tropfen nicht in parallelen, sondern in divergirenden Richtungen heraus und zerstreuen sich im Raume. Da ohnehin der einfallende Lichtstrahl bei zweimaliger Brechung und einer Reflexion sehr geschwächt ist, so haben solche divergirend austretende Strahlen, die einzeln in's Auge gelangen, nicht mehr die nothwendige Stärke, um sich noch wahrnehmbar zu machen.

Die Berechnung des Neigungswinkels δ aus verschiedenen Einfallswinkeln α lehrt jedoch auch, dass mit der Grösse des Einfallswinkels im Allgemeinen zwar auch der Werth von δ wächst, dass aber der Zuwachs des Neigungswinkels immer kleiner wird und schon verschwindet, wenn der Einfallswinkel α der Grösse von 59° sich nähert, und dass für diesen Einfallswinkel die Ablenkung ihr Maximum erreicht. Aus diesem Grunde treten viele der parallel und nahe unter dem Winkel von 59° auffallenden Sonnenstrahlen unter einem und demselben grössten Neigungswinkel, d. h. in parallelen Richtungen aus dem Regentropfen heraus und bilden so ein Lichtbündel, welches in Folge der Vereinigung vieler parallelen Strahlen im Auge einen für die Wahrnehmung des durch den Regentropfen abgelenkten Lichtes erforderlichen Eindruck besitzt. Die unter dem Maximum des Ablenkungswinkels durch den Tropfen gehenden Sonnenstrahlen sind daher diejenigen, welche die Lichterschei-

nung wahrnehmen lassen und heissen daher die wirksamen Strahlen.

Berechnung des Einfalls- und des Neigungswinkels für die wirksamen Strahlen. Lassen wir den Einfallswinkel α um eine sehr kleine Grösse α_1 wachsen, so wird der Brechungswinkel eine sehr kleine Aenderung seiner Grösse erleiden, die wir mit β_1 bezeichnen wollen. Nun ist

$\sin(\alpha + \alpha_1) = n \,.\, \sin(\beta + \beta_1)$, und weil

$\sin(\alpha + \alpha_1) = \sin\alpha \cos\alpha_1 + \cos\alpha \sin\alpha_1$, und so auch

$\sin(\beta + \beta_1) = \sin\beta \cos\beta_1 + \cos\beta \sin\beta_1$, und annäherungsweise $\cos \,.\, \alpha_1 = 1$ und $\cos\beta_1 = 1$

$\sin\alpha_1 = \alpha_1$ und $\sin\beta_1 = \beta_1$

gesetzt werden kann, so ergibt sich im Falle des Zuwachses

$\sin\alpha + \alpha_1 \cos\alpha = n \,.\, \sin\beta + n\beta_1 \cos\beta$; weil aber

$\sin\alpha = n \,.\, \sin\beta$, so ist auch

$\alpha_1 \cos\alpha = n\beta_1 \cos\beta$.

Bezeichnet man mit δ_1 die Aenderung, welche der Neigungswinkel in Folge der eingeführten Aenderung des Einfallswinkels erfährt, so ist

$\delta + \delta_1 = 4(\beta + \beta_1) - 2(\alpha + \alpha_1)$, mithin

$\delta_1 = 4\beta_1 - 2\alpha_1$, daher durch Substitution des Werthes für β_1

$$\delta_1 = \frac{4\alpha_1 \cos\alpha}{n \cos\beta} - 2\alpha_1.$$

Soll die Aenderung des Neigungswinkels gleich Null sein, so muss der zweite Theil dieser Gleichung Null sein, d. h.

$$2 \cos\alpha = n \cos\beta;$$

ersetzt man in dieser Gleichung die Cosinus durch Sinus, indem man sie zunächst zum Quadrat erhebt, und berücksichtigt, dass $\sin^2\alpha = n^2 \,.\, \sin^2\beta$ ist, so erhält man für den Einfallswinkel der wirksamen Strahlen den Ausdruck

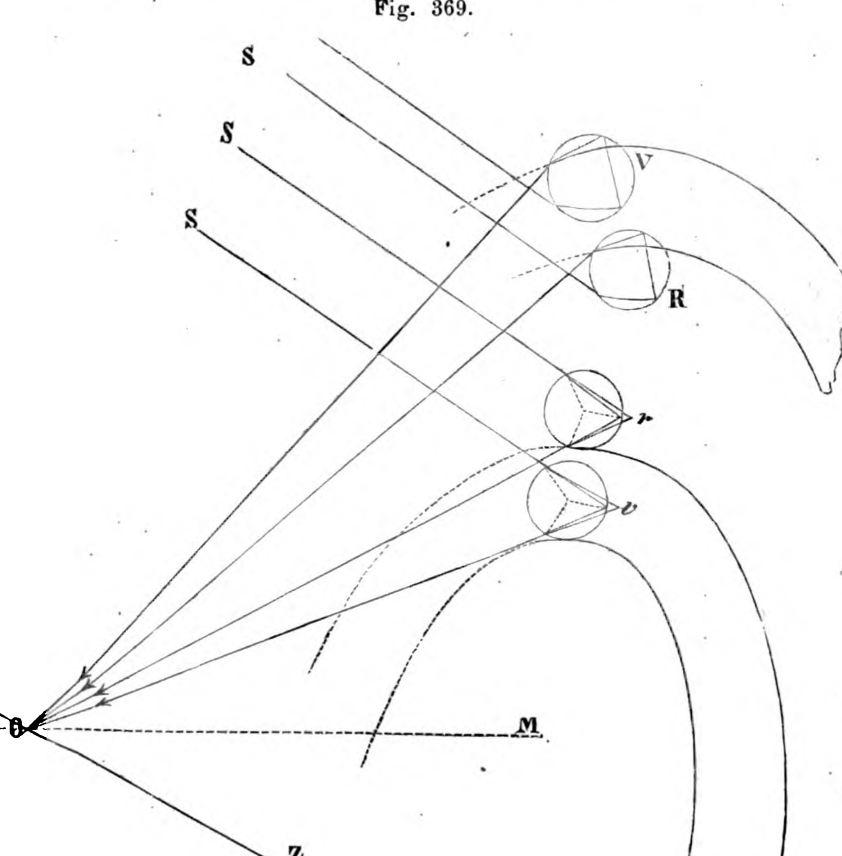
$$\sin\alpha = \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}; \text{ und } \sin\beta = \frac{\sin\alpha}{n}$$

Substituirt man in diese Formeln für die rothen Strahlen ihren Brechungsexponenten $n = \frac{108}{81}$, und für die violetten $n = \frac{109}{81}$, so erhält man zunächst α und β und dadurch für die

wirksamen rothen Strahlen den Neigungswinkel $\delta = 42^0\ 2'$, und für die wirksamen violetten den Neigungswinkel $\delta = 40^0\ 16'$.

Zieht man durch das Auge des Beobachters den Horizont *OM* (Fig. 369) und eine zu den Sonnenstrahlen parallele *OZ*, legt durch *OZ* eine verticale Ebene und zieht in dieser die Linie *Or*

Fig. 369.



dergestalt, dass sie mit *OZ* den Winkel $ZOr = 42^0\ 2'$ bildet, so ist auch der Neigungswinkel $SrO = 42^0\ 2'$, d. h. der Beobachter sieht in der Richtung *Or* die Regentropfen roth gefärbt.

Denkt man sich die Linie *Or* um *OZ* so gedreht, dass der eingeschlossene Winkel unverändert bleibt, so gibt *Or* in allen

ihren Lagen die Richtung des aus den Regentropfen in's Auge kommenden wirksamen rothen Lichtes, d. h. der Beobachter empfängt von allen Regentropfen, welche sich in der von der Linie *Or* bei der Umdrehung um *OZ* beschriebenen Kegelfläche befinden, rothes Licht und sieht einen kreisförmigen rothen Bogen über dem Horizonte ausgespannt.

Zieht man in derselben Weise eine zweite gerade Linie *Ov*, welche mit der Geraden *OZ* den Winkel $ZOv = 40^0\,16'$ einschliesst, so gibt sie die Richtung an, in welcher das Auge das wirksame violette Licht erhält. Der Bogen, welchen die Gerade *Ov* bei unveränderlichem Winkel *ZOv* während ihrer Drehung um *OZ* beschreibt, erscheint dem Auge violett gefärbt.

Zwischen dem obersten und untersten Rande oder dem rothen und violetten Bogen nimmt das Auge die Bögen der übrigen prismatischen Farben wahr. Wäre die Sonne ein blosser Lichtpunkt, so würde die Breite des Regenbogens

$$rOv = 42^0\,2' - 40^0\,16' = 1^0\,46'$$

betragen; da uns aber die Sonne als eine Scheibe von 30 Minuten im Durchmesser erscheint, so liegt die unterste Begrenzung um 30 Minuten unter der Geraden *Ov*, und der Regenbogen nimmt eine Breite von $2^0\,16'$ ein.

In der verticalen Ebene *ZOr* bildet der Tropfen *r* den Gipfelpunkt des Regenbogens. Die Erhebung des Regenbogens über dem Horizonte *OM* wird die Höhe *h* des Regenbogens genannt; diese wird bestimmt durch den Winkel

$$MOr = ZOr - ZOM,$$

worin der Winkel *ZOM* die jedesmalige Sonnenhöhe *H* im Winkelabstande vom Horizonte misst, weil ja *OZ* parallel zu den einfallenden Sonnenstrahlen ist. Daher ist die Höhe des Regenbogens $MOr = h$

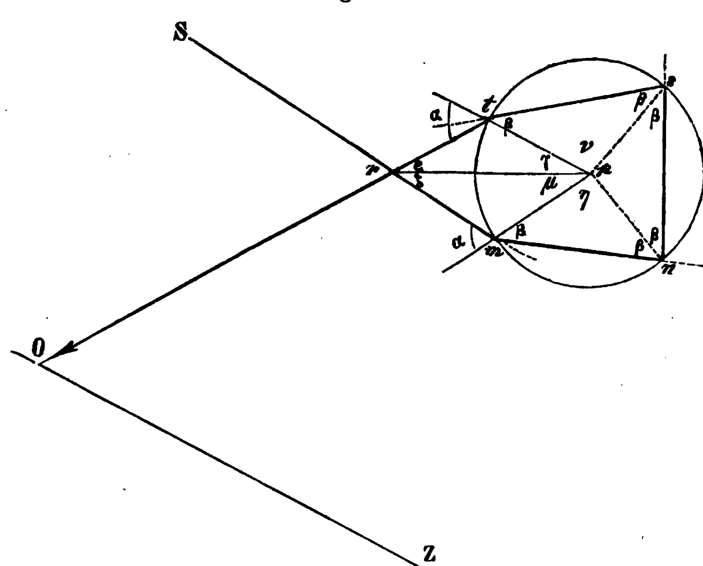
$$h = 42^0\,2' - H.$$

Aus diesem Ausdrucke folgt, dass im Falle die Sonnenhöhe gleich oder grösser ist als $42^0\,2'$, kein Regenbogen sich über dem Horizonte zeigen kann, denn selbst für $H = 42^0\,2'$ ist noch $h = o$; daher ist ein Regenbogen nur bei einer Sonnenhöhe unter $42^0\,2'$ möglich. Diese Möglichkeit erscheint des Tages zweimal, nach Sonnenaufgang und vor Sonnenuntergang. Am Morgen erscheint

also der Regenbogen am westlichen und am Abend am östlichen Himmel, und zwar um so höher, je näher am Horizonte die Sonne steht; die grösste Höhe des Regenbogens $h = 42^0\,2'$ tritt bei $H = o$ auf, d. h. wenn die Sonne im Auf- oder im Untergehen begriffen ist und noch im Horizonte steht.

2. Der Neben-Regenbogen. Der Neben-Regenbogen, der, wie sich weiter unten zeigen wird, im Vergleiche zum Haupt-Regenbogen die prismatischen Farben in umgekehrter Ordnung zeigt, entsteht durch die Ablenkung von Sonnenstrahlen, welche einen Regentropfen (Fig. 370) an der untern Hälfte treffen, und

Fig. 370.



nach einer zweimaligen Reflexion in *n* und *s* und zweimaliger Brechung in *m* und *t* in das Auge des Beobachters gelangen.

Um die Grösse des Neigungswinkels $\delta = \varepsilon + \zeta$ (Fig. 370) zu bestimmen, bedenkt man, dass in den gleichschenkeligen und congruenten Dreiecken *mnp*, *nsp* und *stp* die Winkel an den Grundlinien alle dem Brechungswinkel β gleich sind, und daher der Brechungswinkel beim Austritte des Lichtstrahles aus dem Tropfen gleich ist dem Einfallswinkel α. Es sind also auch die Nebenwinkel zu α, d. h. Winkel *pmr* und *ptr* einander gleich, und

daher die Dreiecke mit der gemeinschaftlichen Seite *pr* congruent; folglich ist auch Winkel $\gamma = \mu$ und $\varepsilon = \zeta$.

Nun ist aber die Summe der Winkel des Vierecks *mrtp* gleich vier Rechten, d. i.

$$(\varepsilon + \zeta) + (\gamma + \mu) + 2\,(180 - a) = 360 \quad \text{oder}$$
$$\delta = 2a - (\gamma + \mu)\,; \quad \text{ferner ist}$$
$$(\gamma + \mu) + \eta + p + \nu = 360 \quad \text{und}$$
$$\eta + p + \nu = 540 - 6\beta\,; \quad \text{folglich}$$
$$\delta = 180 + 2a - 6\beta.$$

Berechnet man nach dem Ausdrucke für δ für verschiedene Einfallswinkel die Grösse des dazu gehörigen Neigungswinkels, so überzeugt man sich, dass die Ablenkung abnimmt, wenn der Einfallswinkel wächst, und ein Minimum wird, wenn $a = 71^0$ erreicht. Strahlen, deren Einfallswinkel weniger als einen halben Grad von 71⁰ abweicht, erleiden dieselbe Ablenkung δ und treten in parallelen Richtungen als ein wirksames Lichtbündel heraus.

Lässt man nämlich den Einfallswinkel wieder um die sehr kleine Grösse a_1 und den Brechungswinkel um β_1 wachsen, und bezeichnet mit δ_1 die Aenderung, welche der Ablenkungswinkel dadurch erfährt, so erhält man auf die oben ausgeführte Art und Weise

$$\delta_1 = 2a_1 - 6\beta_1 = 2a_1 - \frac{6a_1 \cos a}{n \,.\, \cos\beta}.$$

Soll die Aenderung des Ablenkungswinkels gleich Null sein, $\delta_1 = 0$ so muss die Gleichung stattfinden

$$2a_1 = \frac{6a_1 \cos a}{n \,.\, \cos\beta}, \text{ oder } n \,.\, \cos\beta = 3 \,.\, \cos a,$$

woraus man wie oben für den Einfallswinkel dieser wirksamen Strahlen den Ausdruck erhält:

$$\sin a = \sqrt{\frac{9 - n^2}{8}}.$$

Darnach berechnet sich der Einfallswinkel a für wirksame rothe Strahlen mit $71^0\,52'$ und für violette mit $71^0\,39'$. Wird durch Substitution dieser Werthe auch der dazu gehörige Brechungswinkel berechnet, so ergibt sich schliesslich für den Neigungswinkel der wirksamen rothen Strahlen der Werth

$= 50^0\ 58'$ und für die wirksamen violetten Strahlen der Werth $= 54^0\ 10'$.

Denkt man sich durch das Auge des Beobachters zwei gerade Linien für *Ot* gezogen, von denen die untere mit der Geraden zu den Sonnenstrahlen parallelen *OZ* den Winkel von $50^0\ 58'$ und die obere den Winkel von $54^0\ 10'$ einschliesst, so trifft die untere jene Regentropfen, welche ihm rothes, die obere aber jene, welche ihm violettes Licht zusenden, d. h. der Beobachter sieht den Regenbogen unten roth und oben violett gefärbt, wie dies in Figur 369 angedeutet ist. — Aus dem oben angegebenen Grunde beträgt die Breite des Neben-Regenbogens $54^0\ 10' - 50^0\ 58' + 30' = 3^0\ 42'$; er ist also breiter als der Haupt-Regenbogen, aber wegen der öfteren Reflexion weniger hell erleuchtet.

Die Breite des zwischen den beiden Regenbogen liegenden Raumes findet man aus der Vergleichung der Höhen der innern Ränder der beiden Bogen. Die Höhe des Haupt-Regenbogens beträgt am obern Rande $h = 42^0\ 2' - H$, und analog die Höhe des untersten Randes im Neben-Regenbogen $h' = 50^0\ 58' - H$, folglich hat der Zwischenraum eine Breite von $h' - h = 8^0\ 56'$. Von den Regentropfen, welche in diesem Raume liegen, kommen keine gebrochenen wirksamen Strahlen in das Auge des Beobachters; daher erscheint dieser Raum viel dunkler als die Räume ausserhalb der beiden Regenbogen, wohl auch wegen der Contrastwirkung, da die Grenzen dieses Raumes in lebhaften hellen Farben prangen.

Aus dieser Betrachtung der beiden Regenbogen folgt, dass jeder Beobachter seinen eigenen Regenbogen sieht, der bei einer Ortsveränderung des Beobachters mit ihm geht, so wie er dem Gange der Sonne folgt; ferner ist auch ersichtlich, dass jeder der fallenden Regentropfen nur einen Augenblick an der Bildung des Regenbogens mitwirkt, und dass der Regenbogen nur fortdauert, wenn die Regentropfen in continuirlicher Folge über und neben einander auftreten.

Befindet sich der Beobachter in der Nähe der Regenwand, z. B. vor der Wasserstaub-Wolke eines Wasserfalles oder vor der Tropfenwand eines Springbrunnens, und ist die Sonne nahe am Horizonte, so erblickt er bei günstiger Stellung einen ganzen Kreis mit Regenbogenfarben. — Auf ähnliche Weise entsteht der farbige

Bogen, den man beim niedrigen Sonnenscheine über dem mit Thau- und Regentropfen bedeckten Wiesengrase wahrnimmt.

§. 15. **Die Sonnen- und Mondeshöfe.** Zu Zeiten sehen wir Sonne und Mond von hellen farbigen Ringen umgeben, die man Höfe nennt. Meist sieht man diese Ringe nicht vollständig, sondern nur theilweise. Man unterscheidet kleine und grosse Höfe. Der grosse Hof hat einen Durchmesser von 22 bis 23 Graden; bei seinem Erscheinen sieht man zuweilen einen zweiten, dessen Halbmesser 43^0 beträgt.

Zuweilen sieht man nebst der farbigen Höfe einen horizontalen weissen Kreis am Himmel, der durch die Sonne oder den Mond geht, und dieselbe Breite hat wie die Sonne. Die Stellen, wo dieser weisse Kreis den Hof durchschneidet, treten besonders glänzend hervor, so dass man daselbst ein zweites leuchtendes Gestirn von demselben scheinbaren Durchmesser zu sehen glaubt, weshalb man diese Erscheinung Nebensonnen und Nebenmonde nennt, je nachdem sie in der Umgebung der Sonne oder des Mondes zum Vorschein kommen. — Zu Zeiten sieht man beim Auf- oder Untergehen der Sonne in einer verticalen sich über der Sonne erhebenden Säule die Nebensonne; zuweilen erscheinen Nebensonnen ohne die Ringe, und sind dann um so täuschender; zuweilen erscheinen Nebensonnen mit langen glänzenden Schweifen in der Richtung des horizontalen Kreises. Die Ringe und die Nebensonnen erscheinen nie bei ganz heiterem Himmel, sondern nur wenn der Himmel mit einem Schleier überzogen ist.

Diese Höfe haben grosse Aehnlichkeit mit dem Lichtkranze, welchen man in einem dunsthaltigen Zimmer um eine Kerzenflamme sieht. Man kann diese Erscheinung bei Kerzenlicht auch künstlich hervorrufen, wenn man die Kerzenflamme durch eine mit semen licopodii bestreute Glasplatte betrachtet. So wie dieses Phänomen sind wohl auch die Höfe zu den Interferenz-Erscheinungen zu zählen, und wohl dürften Wassertröpfchen oder Eisnadeln die Stelle der feinen Licopodium-Theilchen vertreten.

Anstatt des semen licopodii nimmt man auch kleine Glaskügelchen, gibt sehr viele zwischen zwei geschliffene Plangläser, und bringt sie hierauf vor das Objectiv eines Fernrohres; lässt man in das Fernrohr directes Sonnenlicht in einem verfinsterten Zimmer fallen, so erblickt man die runde Oeffnung, durch welche

das weisse Sonnenlicht im Fensterladen eindringt, hell weiss und um sie herum Farbenringe. Die Versuche lehren, dass die Erscheinung der Farbenringe desto grösser wird, je kleinere Kügelchen man nimmt, und dass sie besonders schön ausfällt, wenn man die Glaskugeln wie in Gitterform gruppirt. Fraunhofer hat die Aehnlichkeit dieser Beugungserscheinungen mit den kleinen Höfen so gross gefunden, dass er diese Höfe als Ergebniss der Beugung erklärt, welche die von der Sonne ausgehenden Lichtstrahlen an dem Umfange der kleinen Wassertröpfchen in dem Falle erleiden, wenn zwischen den Wassertröpfchen auch noch directes Sonnenlicht durch die Atmosphäre dringen kann. In solchen Fällen senden die im gleichen Abstande vom leuchtenden Körper befindlichen Wassertröpfchen dem Auge dieselben Farbenstrahlen zu. Wenn die Tröpfchen gleich gross sind, so werden sich die Ringe von gleicher Farbe verstärken; sind sie ungleich, so fallen verschiedene Farben über einander und der Hof erscheint farblos.

Eine Bestätigung dieser Erklärung der kleinen Höfe aus der Beugung des Lichtes an Wasserkügelchen bietet die Thatsache, dass man den Mond und die Sonne durch eine bethaute Glasplatte von einem kleinen Hof umgeben sieht.

Die Entstehung des grossen Hofes erklärt Fraunhofer aus der Brechung des Lichtes in Eiskrystallen, die namentlich an kalten Wintertagen in der Atmosphäre vorkommen. Diese Eiskrystalle haben die Gestalt von sechsseitigen Prismen, da sich die Eisnadeln unter dem Winkel von 60° zusammenfügen. Durch die Annahme, dass die sechsseitigen Prismen auch eine pyramidale Zuspitzung annehmen, erklärt Fraunhofer auch die Bildung des zweiten grossen Hofes.

Nach Fraunhofer erklärt man auch die Erscheinung der Nebensonnen durch die Reflexion der Sonnenstrahlen an den verticalen Flächen der Eisnadeln. Die Erfahrung, dass man bei Betrachtung der aufgehenden sowie der untergehenden Sonne mittelst eines aus horizontalen und sehr nahe an einander gezogenen Fäden bestehenden Gitters eine verticale Säule erblickt, brachte Fraunhofer zu der Hypothese, dass die bei Auf- und Untergang der Sonne in der Atmosphäre erscheinende verticale Säule durch Beugung der Sonnenstrahlen an horizontal schwebenden Eisna-

deln oder Wassertröpfchen hervorgerufen werde. Eine Farbenerscheinung kann dabei nicht eintreten, weil die Farbenstreifen vielfach über einander fallen und sich wieder zu Weiss ergänzen.

Den horizontalen weissen Streifen hat ebenfalls Fraunhofer dadurch hervorgerufen, dass er auf einem mit Gold belegten Planglase parallele, aber ungleich weit von einander abstehende gerade Linien einradirte und die radirten Linien in die verticale Stellung brachte. Betrachtet man dadurch die Sonne oder auch eine Kerzenflamme, so beobachtet man zu beiden Seiten des leuchtenden Körpers einen horizontalen weissen Streifen von der Breite des leuchtenden Körpers. Darnach bildete sich Fraunhofer die Ansicht, dass Eisnadeln oder Wassertröpfchen, die in sehr geringen Abständen von einander in der Atmosphäre schweben und gleichsam in verticalen Linien gruppirt erscheinen, die zwischen ihnen horizontal gehenden Lichtstrahlen in horizontaler Richtung beugen und so den horizontalen Kreis der Nebensonne erzeugen. In jenen Fällen, wo beide Bedingungen erfüllt sind, und man die Beugung in horizontaler und verticaler Richtung sehen kann, erblickt man ein weisses durch den leuchtenden Körper gehendes Kreuz.

§. 16. **Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine.** Eines der merkwürdigsten Meteore bilden die periodisch wiederkehrenden Sternschnuppenschwärme, welche man in der Zeit vom 12. bis zum 14. November und um den 10. August beobachtet. Einer der bedeutendsten Schwärme dieser Art wurde vom 12. bis 13. November 1833 in Nordamerika beobachtet, wo die Sternschnuppen fast wie Schneeflocken auf einander folgten, so dass innerhalb 9 Stunden über 240,000 gesehen wurden.

Bei grossen Sternschuppenschwärmen beobachtete man auch Feuerkugeln unter denselben. Feuerkugeln zerplatzen unter grossem Getöse und lassen dann Steinmassen herabfallen, die unter dem Namen der Meteorsteine oder der Aërolithen bekannt sind. Man beobachtete aber das Herabfallen solcher auch bei Tage und zwar schienen sie aus kleinen graulichen Wolken herabzufallen.

Die Meteorsteine haben eine eigenthümliche Physiognomie, wodurch sie sich von allen irdischen Körpern unterscheiden. Obwohl es nach Chladni nicht möglich ist den allgemeinen Charakter der Aërolithen anzugeben, weil sie unter sich zu sehr verschie-

den sind, so erscheint doch besonders charakteristisch der Gehalt an gediegenem Eisen und eine pechartig glänzende, zuweilen geäderte Rinde, welche fast immer vorhanden ist.

Man hat schon mehrfach die Meinung ausgesprochen, dass Sternschnuppen, Feuerkugeln und Meteorsteine cosmischen Ursprungs sind. Namentlich hat Alex. v. Humboldt in seinem Cosmos nachgewiesen, dass ihre Erscheinungen nicht nur von den atmosphärischen Verhältnissen, sondern auch von der eigenthümlichen Bewegung der Erde ganz und gar unabhängig sind, folglich sie auch nicht als Individuen unseres Planeten angesehen werden können. Alex. v. Humboldt schliesst sich der Ansicht an, dass es wahrscheinlich cosmische Massen sind, welche etwa wie in einem Ringe im Raume vertheilt den Planeten ähnlich um die Sonne kreisen, und dort, wo die Erdbahn die Ebene des Ringes durchschneidet, in die Anziehungssphäre der Erde gerathen und so herabfallen.

Die Feuererscheinung der Sternschnuppen und Feuerkugeln suchte man sich früher durch die Annahme zu erklären, dass diese Weltkörper mit einer Atmosphäre brennbarer Gase umgeben sind, welche sich beim Eintritte in die sauerstoffhältige Atmosphäre entzünden. Seit der Ausbildung der mechanischen Wärmetheorie muss jedoch diese sehr gesuchte Hypothese einer natürlichen Erwärmung in Folge der bei der Ueberwindung des Widerstandes in der Atmosphäre verrichteten Arbeit Platz machen.

Bekanntlich kommen diese cosmischen Körper mit einer Geschwindigkeit von 4 bis 6 Meilen per Secunde in die Atmosphäre. Gesetzt diese Geschwindigkeit würde nur 4 Meilen betragen und durch den Widerstand der Bewegung in der Atmosphäre auf 3 Meilen herabgesetzt werden. Bezeichnet man mit m die Masse eines Kilogramms dieses Körpers und setzt eine geograph. Meile $= 7418$ Meter, so erhält man beim Eintritte in die Atmosphäre die halbe lebendige Kraft $\frac{mc^2}{2} = 440{,}225660 \,.\, m$, und nach Verlust von einer Meile Geschwindigkeit noch die halbe lebendige Kraft $\frac{mc_1^{\,2}}{2} = 247{,}626934 \,.\, m$.

Daher ist die zur Ueberwindung des Luftwiderstandes verwendete Arbeitsgrösse A

$$A = \frac{m}{2}(c^2 - c^2_1) = 192{,}598726 . m.$$

Bedeutet q das Gewicht der Masse m in Kilogrammen und g die Acceleration in Metern, so ist nach der Formel $m = \frac{q}{g}$ für die Masse m zu setzen $1 : 9{\cdot}81$, weil $g = 9{\cdot}81$ Meter ist. Daher ist die Arbeitsgrösse

$$A = \frac{q}{2g}(c^2 - c_1^2) = 19{,}632897 \text{ Kilogramm-Meter.}$$

Um eine Wärmeeinheit zu erzeugen ist aber nach der mechanischen Wärmetheorie eine Arbeit von 424 Kilogramm-Meter erforderlich. Der Quotient $A : 424 = 46307$ gibt also die Anzahl Wärmeeinheiten, die aus der zur Ueberwindung des Luftwiderstandes verwendeten lebendigen Kraft eines Kilogrammes des cosmischen Körpers entstehen.

Diese Wärmemenge ist aber mehr als sechsmal grösser als die, welche beim Verbrennen eines Kilogramms Kohle entsteht. Geht auch ein bedeutender Theil dieser Wärmemenge an die verdichtete Luftmasse über, welche der Körper vor sich hertreibt, so reicht der Rest noch immer hin, um eine Schichte seiner Oberfläche zum Erglühen zu bringen. Den lichten Streifen, den die sichtbaren Sternschnuppen hinter sich lassen, hält man für glühende losgerissene Theilchen der glühenden Oberfläche.

Wenn die Meteormassen auf die Erde herabfallen, verlieren sie allmälig ihre lebendige Kraft, die Erhitzung wird grösser, und daher kommt es, dass sie häufig unter Explosionen zerspringen. Die niedergefallenen Stücke hat man zwar erwärmt, aber nicht mehr im glühenden Zustande gefunden, was Helmholtz dadurch erklärt, dass während der kurzen Zeit, als das Meteor sich durch die Atmosphäre bewegte, nur eine dünne Schichte der Oberfläche zum Glühen erhitzt und kurz nach dem Fall auch schon abgekühlt wurde.

Anhang.

Physikalische Aufgaben.

§. 1. Vom Gleichgewichte der Körper im Allgemeinen.

1. Statisches Maass der Kräfte. Auf einer sehr glatt gemachten Fläche ist eine gut polirte Kugel frei beweglich aufgestellt; in der Richtung des mit der horizontalen Ebene parallelen Durchmessers sind zwei Haken angebracht, die zu Angriffspunkten von Kräften dienen sollen. Es zieht eine unbekannte Kraft X die Kugel an dem einen Haken nach rechts, während man in der gerade entgegengesetzten Richtung nach links einen Zug R von 25 Pfunden anbringen muss, um die Kugel in Ruhe zu erhalten. Wie gross ist die Kraft X, wenn ein Pfund als Einheit der Kraft genommen wird? Wie gross ist X, wenn R ein Centner ist?

2. Leistung oder Arbeitsgrösse. *a*) Wie gross ist die Arbeitskraft einer Dampfmaschine, in welcher der treibende Dampf auf den beweglichen Kolben von 500 Quadratzoll Fläche derart drückt, dass auf jeden Quadratzoll ein Druck von 20 Pfund entfällt, und der Kolben 30 Hin- und Hergänge von je zwei Fuss Länge in der Minute macht?

b) In einem Bergwerke gibt ein Wasserdruck eine Arbeitsgrösse von 8000 Fusspfund per Minute, welche Last kann damit aus einer 12 Klafter tiefen Grube per Minute gehoben werden, wenn man von Hindernissen ganz absieht?

3. Gleichgewicht der Kräfte an Maschinen. *a*) Ein doppelarmiger Hebel hat 10 Fuss Länge, am Ende des einen sieben Fuss langen Hebelarmes wirkt senkrecht auf den Arm eine Last von zwei Centnern, wie gross ist die Kraft am Ende des andern Armes, wenn Gleichgewicht herrscht?

b) Zwei Handlanger haben je einen Schiebkarren; beim ersten liegt der Schwerpunkt der Last Q einen Fuss, beim zweiten zwei Fuss von der als Unterstützungspunkt dienenden Radaxe, während beide fünf Fuss weit von derselben stehen; welches ist das Verhältniss ihrer Kräfte, wenn beide gleichen Gewichten, z. B. $Q = 250$ Pfund, das Gleichgewicht halten?

c) Ein parallelopipedischer langer Balken liegt auf einer runden Unterlage, um die er sich leicht drehen lässt, sein Schwerpunkt liegt vier Fuss über der Unterlage, sein Gewicht ist 150 Pfund, ein Knabe im Gewichte von 60 Pfd. erhält ihn in der horizontalen Lage im Gleichgewichte, wie weit von der Unterlage entfernt sitzt der Knabe auf dem Balken?

d) Am Ende eines einarmigen einen Fuss langen Hebels des Sicherheitsventils am Dampfkessel zieht das Gewicht von vier Pfunden, der Hebel wiegt drei Pfund, sein Schwerpunkt ist sechs, der Druckpunkt des Ventils vier Zoll von der Drehungsaxe entfernt; wie gross ist beim Gleichgewicht der auf das Ventil ausgeübte Druck?

e) Der Halbmesser der Welle eines Wellrades beträgt sechs Zoll, wie gross muss der Halbmesser des Rades sein, damit eine Kraft von 50 Pfunden einer Last von 10 Centnern das Gleichgewicht hält?

f) Mittelst einer beweglichen Rolle von 10 Pfd. Gewicht wird eine Last von 120 Pfd. in die Höhe gezogen, so dass sich die Stricke parallel bleiben, wie gross ist die Kraft im Zustande des Gleichgewichtes?

g) Der Neigungswinkel einer schiefen Ebene beträgt 30°, wie gross muss eine mit der Basis parallel wirkende Kraft sein, um der Last von 150 Pfd. das Gleichgewicht zu halten?

h) Ein Fass Wein im Gewichte von 8 Ctr. soll auf einer schiefen Ebene, deren Länge 2 Klafter, die Höhe 3 Schuh beträgt, von zwei Arbeitern, die es parallel mit der Ebene ziehen, im Gleichgewichte erhalten werden; wie stark müssen die Arbeiter ziehen?

i) Mittelst einer Schraube ohne Ende soll die Last von zehn Centnern im Gleichgewichte erhalten werden, wie gross muss die an einer Kurbel von 2 Fuss wirkende Kraft sein, wenn der Halbmesser der Welle 6 Zoll beträgt und das Rad 100 Zähne hat?

k) Mittelst eines Flaschenzuges, dessen Flasche aus drei beweglichen Rollen besteht, soll ein Fass im Gewichte von 10 Ctr. gehoben werden, wie gross muss die Gleichgewicht haltende Kraft sein, wenn man von den Widerständen und dem eigenen Gewichte der Flasche absieht?

4. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte. *a*) Ein Schiff wird von Pferden mit einer Gesammtkraft von

$R = 100$ Centner unter dem Neigungswinkel von 30^0 gegen das Ufer gezogen, wie gross ist die Kraft, mit welcher das Schiff parallel mit dem Ufer fortbewegt wird, und wie gross der Druck des Wassers auf das dirigirende Ruder?

b) Wie gross ist die Resultirende zweier Kräfte $P = 1$ Ctr., $Q = 60$ Pfd., die einen Winkel von 45^0 einschliessen?

c) Auf einem Flusse, dessen Stromgeschwindigkeit sechs Fuss ist, wird ein Kahn mit der Ruderstellung senkrecht gegen das Ufer mit einer Geschwindigkeit von drei Fuss fortbewegt, wie viel tiefer wird er am andern Ufer anlangen, wenn der Strom 100 Klafter breit ist?

d) Ein Balken von vier Pfund Gewicht wird erstens in seinem Schwerpunkte aufgehängt, zehn Zoll vom Aufhängepunkte zieht das Gewicht $Q = 6$ Pfd., wie gross muss die Kraft P sein, die im Abstande von 15 Zoll den Balken in der horizontalen Gleichgewichtslage erhält? zweitens wird der Schwerpunkt des Balkens sechs Zoll auf die Seite der Kraft verschoben, wie gross muss dann die Kraft sein? drittens wie wird sich der Balken stellen, wenn die Kraft von drei Pfunden in derselben Entfernung angebracht ist?

e) Sechs Arbeiter sind damit beschäftigt durch das Fallenlassen eines über eine fixe Rolle zu hebenden Widders hölzerne Pflöcke in die Erde einzutreiben, wie werden sie sich um den über die Rolle herabhängenden Strick stellen, um ihre Zugkraft am besten zu verwerthen, und welche Grenze der Zugkraft können sie höchstens erreichen?

f) Auf einem zwei Klafter langen und vier Schuh breiten Tische, dessen Eckpunkte unterstützt sind, stehen fünf physikalische Instrumente, drei in der Mittellinie der Längsrichtung, von den Enden und von einander gleichweit entfernt, zwei in der Diagonale, der eine $^1/_4$, der andere $^1/_3$ derselben von den entgegengesetzten Enden entfernt, die drei ersten wägen je 130 Pfd., der in $^1/_3$ einen Centner, jener in $^1/_4$ aber 90 Pfd.; wo liegt der Angriffspunkt der Resultirenden sämmtlicher Druckkräfte und wie gross ist der Druck?

g) Wo liegt der Schwerpunkt eines 30 Klafter hohen Thurmes, den wir annäherungsweise für eine viereckige Pyramide ansehen wollen, und wie verhalten sich die Standfähigkeiten zweier

gleich hoher Thürme, wenn die Basis des einen um $^1/_{10}$ grösser ist als die des andern, und der von kleinerer Basis seinen Schwerpunkt in Folge grösserer Masse des unteren Theiles um $^1/_3$ tiefer hat?

h) Wo liegt der Schwerpunkt eines Dachstuhles, wenn der Durchschnitt ein gleichseitiges Dreieck bildet, dessen Seiten gleiche Maasse haben, und das Dach selbst als eine gleichförmig dichte materielle Fläche angenommen wird?

§. 2. Von der Bewegung im Allgemeinen.

1. Dynamisches Maass der Kräfte. *a*) Nimmt man z. B. bei einer Dampfmaschine jene bewegende Kraft des Dampfes zur Einheit, welche eine 400 Centner schwere Maschine mit der Geschwindigkeit von einem Fuss fortbewegt, wie gross ist die bewegende Kraft des Dampfes, wenn dieser einen Zug von 6400 Centner mit der Geschwindigkeit von 30 Fuss bewegt? — Woher kommt es, dass bei einer Locomotive die sich gleich bleibende Dampfkraft keine gleichförmig beschleunigte Bewegung zur Folge hat?

b) Die Erdkraft ertheilt vermöge ihrer constant continuirlichen Anziehung einem frei fallenden Steine an einem Orte die Beschleunigung von 30 Fuss, an einem andern die von 31', wie verhalten sich die Wirkungen der Schwerkraft an diesen zwei Orten und die bei 30' Beschleunigung als Einheit, wie gross ist die andere?

2. Gleichförmige und gleichförmig beschleunigte Bewegung. *a*) Wie gross ist die Geschwindigkeit des mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortschreitenden Lichtes, wenn dasselbe in 16' 26" der Durchmesser der Erdbahn von 41,361.000 geogr. Meilen zurücklegt?

b) In der Entfernung von einer halben Meile von einer abgefeuerten Kanone trifft der Schall einen Berg, prallt ab und verbreitet sich zurück, welche Zeit vergeht nach dem Schusse bis der Schall zurück kommt, wenn seine Geschwindigkeit 1050 Fuss beträgt?

c) Wie gross ist der Fallraum eines freifallenden Steines, der zehn Secunden auf dem Wege zubringt?



d) Wie tief ist eine verticale Erdhöhle, wenn man einen hineinfallenden Stein nach t Secunden am Grunde auffallen hört?

e) In Folge der Wirkung der mittleren Schwerkraft erhält ein frei fallender Körper die Acceleration von 9810^{mm}, wie gross ist diejenige Schwerkraft, welche der Acceleration von 1^{mm} entspricht, wenn man die erstere gleich Eins setzt?

3. Arbeitsgrösse eines Körpers von der Geschwindigkeit v. *a*) Wie gross ist die Leistungsfähigkeit einer Wassermenge von zehn Kubikfuss, die sechs Fuss hoch auf ein Mühlrad herabfällt?

b) Die Dampfkraft ertheilt allmälig dem 6400 Centner schweren Eisenbahnzuge die Erdgeschwindigkeit $v = 30$ Fuss; welche Arbeit hat der Dampf dabei geleistet und wie tief müsste dieselbe Last frei herabfallen, damit sie die gleiche Leistungsfähigkeit erhalten würde?

4. Fliehkraft. *a*) Wie gross ist die Fliehkraft eines Reiters von 100 Pf. Gewicht, der in je zehn Secunden einen Kreis vom Halbmesser von vier Klaftern zurücklegt und wie kann er sich im Gleichgewichte erhalten?

b) Warum fährt ein Eisenbahnzug an den Stellen, wo sich die Bahn krümmt, viel langsamer? Welche Geschwindigkeit darf wegen der Fliehkraft ein Waggon, vom Gewichte Q auf einer Bahn von fünf Fuss Spurweite und 300 Fuss Krümmungshalbmesser, erreichen, ohne aus dem Geleise geworfen zu werden? Man denke an seine Stabilität, wenn sein Schwerpunkt vier Fuss über den Schienen liegt.

c) Wie gross ist die Fliehkraft eines Eisenbahn-Waggons von 200 Centnern Gewicht, wenn die Geschwindigkeit des Zuges 30 Fuss und der Krümmungshalbmesser der Bahn 100 Klafter beträgt?

d) Ein im Kreise einer englischen Rutschbahn herumfahrender Wagen wiegt 10 Centner, mit welcher Geschwindigkeit muss er die höchste Stelle passiren, an welcher sein Gewicht der Fliehkraft gerade entgegengesetzt wirkt, um nicht herabzufallen, wenn der Durchmesser der Kreisbahn 3 Klafter und 2 Fuss beträgt?

5. Winkelgeschwindigkeit und Trägheitsmoment.

a) Wie verhalten sich die Trägheitsmomente zweier Schwungräder, wenn man blos den Radkranz betrachtet, und dieser bei

45*

dem einen der Halbmesser r und die Masse m, bei dem andern R und M hat?

b) Wie gross ist das Trägheitsmoment eines Parallelopipeds von 2 Pfd. Gewicht, wenn es sich um eine durch den Schwerpunkt gehende auf der Richtung der Stange senkrechte Axe dreht, wenn seine Länge $L = 3$ Fuss, seine Breite $B = 3$ Zoll beträgt?

6. Wie kann man mittelst der Atwood'schen Fallmaschine die Acceleration der Schwere annäherungsweise finden, wenn man den in der Zeit t dabei zurückgelegten Weg s kennt?

a) Zwei unelastische Körper, welche von entgegengesetzten Richtungen kommen, geben sich einen centralen Stoss, der eine hat ein Gewicht von 50 Pfd. und die Geschwindigkeit von 6 Fuss, der andere 30 Pfd. und 5 Fuss, wie gross ist ihre gemeinschaftliche Geschwindigkeit nach dem Stosse und in welcher Richtung erfolgt die resultirende Bewegung?

b) Wie gross müsste die Geschwindigkeit der kleineren Masse im eben angeführten Falle sein, damit die Körper durch den Stoss zur Ruhe kämen?

c) Zwei elastische Kugeln, derén Bewegung in derselben Richtung vor sich geht, stossen sich central; die eine hat das Gewicht von 10 Pfd. und die Geschwindigkeit von 20 Fuss, die andere 40 Pfd. und 5 Fuss, wie gross sind ihre Geschwindigkeiten nach dem Stösse?

d) Zwei elastische Kugeln erleiden gegenseitig einen schiefen Stoss; die eine 20 Pfd. schwere hat die Geschwindigkeit 10 Fuss, und ist um 30° gegen die Berührungsebene geneigt, die andere 10 Pfd., 12 Fuss und 45°; ihre Bewegungsrichtung und Grösse nach dem Stosse ist zu verzeichnen?

7. Bewegung auf einer schiefen Ebene. *a*) Eine schiefe Ebene hat bei ihrer Länge von 4 Klafter eine Höhe von 8 Fuss, welche Zeit braucht eine Kugel, um über dieselbe herabzurollen und welche Geschwindigkeit hat sie am Fusspunkte derselben?

b) Man beobachtet die Zeit t, während welcher auf der schiefen Ebene ein Weg s zurückgelegt wird, wie gross ist die Beschleunigung der Schwere beim freien Falle?

8. Ueber Pendelbewegung. *a*) Wie gross ist die Länge des einfachen Secundenpendels an einem Orte, wo die Acceleration $= 31$ Fuss beträgt?

b) Wie gross ist die reducirte Länge des Secundenpendels an einem Orte, wo ein Reversionspendel, dessen Drehungsaxen in einem gegenseitigen Abstande von 3 Fuss angebracht sind, eine Schwingungsdauer von $1^1/_2$ Secunden hat?

c) Wie gross ist die scheinbare, von der Drehung der Erde herkommende, Drehung der Schwingungsebene eines Foucault-schen Pendels in Pest etc. während einer halben Stunde?

d) In Wien hat ein einfaches Secundenpendel die Länge $l = 3 \cdot 144$ Fuss, wie lang ist daselbst die Länge L eines physischen Secundenpendels, das aus einer dünnen Stange in dem Gewichte von 1 Pfd. besteht, die sich um einen ihrer Endpunkte dreht?

9. Bewegung geworfener Körper. *a*) Wie hoch erhebt sich ein vertical aufwärts geworfener Körper, dem die Wurfkraft eine Geschwindigkeit von 50 Fuss ertheilt?

b) Ein Körper wird in der horizontalen Richtung mit der Geschwindigkeit von 80 Fuss geworfen, man verzeichne seine Bahn von Secunde zu Secunde, wenn die auf ihn wirkende Schwerkraft eine Acceleration von 31 Fuss hervorruft?

c) Eine Kugel wird unter dem Elevationswinkel von 45^0 mit der Geschwindigkeit von 1000 Fuss abgeschossen, welche Höhe erreicht sie, wenn man vom Widerstande der Luft absieht? wie gross ist ihre zerstörende Kraft, wenn sie 50 Pfd. Gewicht hat und wie gross ihre theoretische Wurfweite?

10. Centralbewegung. *a*) Nehmen wir die Entfernung der Erde von der Sonne 20 Millionen Meilen, wobei sie die Geschwindigkeit von $4^1/_2$ Meilen hat, welche Geschwindigkeit hat die Erde bei einer Entfernung von 20,658.000 Meilen?

b) Wie gross ist die Geschwindigkeit eines Ortes unter dem Aequator in Folge der Umdrehung um die Erdaxe, wenn die Peripherie des Aequators = 5400 Meilen und die Umdrehungszeit = 23 Stunden, 56 Minuten und 4 Secunden mittlerer Sonnenzeit gesetzt wird?

c) Ein Schwungrad von zwei Klafter Durchmesser macht in einer Minute zwanzig Umläufe, mit welcher Geschwindigkeit bewegt sich sein äusserer Umfang?

11. Hindernisse der Bewegung. *a*) Wie gross ist der Reibungs-Coëfficient zwischen dem Materiale des Körpers und

seiner Unterlage, wenn der Körper von 60 Pfd. mit einer Kraft von 20 Pfd. auf der horizontalen Unterlage fortbewegt wird?

b) Ein Schlitten hat ein Gewicht von 6 Centnern, der Reibungs-Coëfficient beträgt 0·2, wie gross ist die Leistung eines Pferdes, das denselben eine halbe Stunde Weges fortzieht?

c) Der Coëfficient der wälzenden Reibung an den Eisenbahnschienen beträgt nach Pambour $\frac{1}{370}$, wie gross muss die Dampfkraft sein, um nur der Reibung Gleichgewicht zu halten, wenn der Zug eine Last von 6400 Centner hat? und welche Arbeit muss sie verrichten, um dem Zuge eine Stunde hindurch die Geschwindigkeit $c = 30$ Fuss ertheilen?

§. 3. Hydrostatik und Hydrodynamik.

a) Wie gross ist die Hub- oder Druckkraft einer hydraulischen Presse, bei welcher die Fläche des Presskolbens 150 Quadratzoll, die des Druckkolbens 1 Quadratzoll, wenn am Ende des einarmigen Hebels von 3 Schuh Länge eine Kraft von 50 Pfund senkrecht darauf wirkt, und der Abstand der Stange des Druckkolbens vom Drehungspunkte 6 Zoll beträgt?

b) Wie gross ist der hydrostatische Bodendruck, wenn die Höhe der drückenden Wassersäule 6 Klafter und die Druckfläche oder Basis $^1/_2$ Quadratfuss beträgt?

c) Wie gross ist der Druck des Meerwassers in der Tiefe von 12,000 Fuss auf die Fläche von 1 Quadratzoll?

d) Wie gross ist der Bodendruck auf die horizontale Bodenfläche, deren Breite 4 Fuss, die Länge 10 Fuss beträgt, wenn das Gefäss bis 15 Fuss Höhe mit Wasser gefüllt ist?

e) Der Radius des untern Behälters einer Real'schen Presse beträgt $1^1/_2$ Zoll, die Höhe der mit Wasser gefüllten Druckröhre 2 Klafter, wie stark drückt das Wasser auf die zwischen Fliesspapier auf den Boden des Behälters zum Extrahiren eingelegten Pflanzentheile?

f) An der Seitenwand eines 4 Fuss hoch mit Wasser gefüllten Gefässes ist ganz unten eine Pippe mit einer Fläche von 3 Quadratzoll, welchen Druck erleidet sie?

g) Welchen Druck erleidet eine Schleusse, hinter der das Wasser 3 Klafter hoch steht, wenn ihre Breite 1 Klafter und die Höhe 4 Klafter beträgt?

h) In einem Arme eines Communicationsgefässes ist Quecksilber, in dem andern Wasser, wie verhalten sich ihre Höhen im Gleichgewichte?

i) Wie viel wiegt ein ganz in Wasser eingetauchter Körper, dessen absolutes Gewicht 50 Pfund und das Volum 100 Kubikzoll beträgt?

k) Ein Holzwürfel, dessen Seite 12 Zoll beträgt, wird auf das Wasser gelegt. Frage: welches Gewicht muss man darauf legen, damit er ganz untersinkt, wenn sein specifisches Gewicht 0·5 ist?

l) Die Krone des Königs Hiero von Syracus wog 20 Pfund, im Wasser verlor sie $1^1/_4$ Pfund, aus wie viel Gold und wie viel Silber bestand sie, wenn man das specifische Gewicht des Goldes 19, das des Silbers 10 setzt?

m) Wie gross ist das specifische Gewicht eines Körpers, wenn sein absolutes Gewicht 1 Kilogramm und sein Gewichtsverlust im Wasser 500 Gramm beträgt?

n) Ein Gewichtsaräometer von 50 Gramme Gewicht sinkt im Wasser bis zur Marke ein, wenn man 16 Gramme darauf legt, im Weingeiste aber schon bei dem Zuleggewichte von 11 Gramm; wie gross ist die Dichte dieses Weingeistes?

o) Wie gross ist die theoretische und wie gross die wirkliche Ausflussmenge, wenn die Flüssigkeit aus einer im Boden des Gefässes angebrachten Oeffnung von 4 Quadratzoll bei einer Druckhöhe von 5 Fuss während vier Minuten ausströmt und der Contractions-Coëfficient = 0·62 ist?

p) Zur Construction einer W a s s e r u h r nimmt man einen 4 Fuss hohen Glascylinder von 5 Zoll Weite; dieser soll sich durch eine kreisrunde Oeffnung im Boden binnen 6 Stunden entleeren und der jedesmalige Wasserstand soll die Zeit des Rinnens von 15 zu 15 Minuten angeben, wie gross muss die Bodenöffnung sein und wie wird die Zeitscala angefertigt? der Contractions-Coëfficient wird hier auch = 0·62 gesetzt.

q) Wie gross ist die Stosskraft eines mit der Geschwindigkeit von 10 Fuss dahinfliessenden Wassers, dessen verticaler Durchschnitt 10 Quadratfuss beträgt?

r) Mit welcher Kraft wird ein Brückenpfeiler vom Strome gestossen, wenn das Wasser eine Fläche von 8 Quadratklafter mit

der Geschwindigkeit von 6 Fuss unter dem Neigungswinkel von 30° trifft?

§. 4. Aëorstatik und Aërodynamik.

a) Wie hoch vermag der Druck der atmosphärischen Luft das Wasser in einer luftleeren Röhre zu heben, wenn der Barometerstand 28 Zoll beträgt?

b) Ein mit Wasser gefülltes Gefäss wird mit der Mündung nach abwärts in einen Wasserbehälter gestellt, so dass darin eine 8 Schuh hohe Wassersäule gehoben erscheint, und wie viel grösser ist der Druck der Luft per Quadratzoll auf den obern Boden von aussen, als der Gegendruck von innen?

c) Wie viele Atmosphären übt der Druck einer 143·55 Fuss hohen Wassersäule auf den Kolben einer Wassersäulenmaschine?

d) In der offenen Röhre des Apparates für das Mariotte'sche Gesetz steht das Quecksilber um 2 Barometerhöhen höher als in der geschlossenen mit Luft gefüllten, die in 100 Theile getheilt ist; an welchem Theilstriche steht das Quecksilber in der letztern Röhre, wenn es auf o stand, als der Höhenunterschied Null war?

e) Wie gross ist der Raum, den eine Luftmasse bei 100° C. einnimmt, wenn sie bei 0° C. 10 Kubikfuss einnimmt und die Volumänderung unter constantem äussern Drucke vor sich geht?

f) Wie gross wäre aber dieser Raum, wenn die obige Luftmasse bei 15° C. 10 Kubikfuss einnimmt?

g) Die Formel 5 im §. 6 soll so umgestaltet werden, dass sie das V bei einer Temperatur t angibt, wenn das anfängliche Volum V_0 bei t_1, die Spannkraft oder der Druck auf einen Quadratzoll p war und in q übergegangen ist.

h) Nach der dadurch erhaltenen Formel soll berechnet werden die Temperatur, welche man einem Gase, dessen Spannkraft 15 Pfund war, bei einem Volum von 800 Kubikfuss und 10° C., geben muss, damit es bei einem $V = 1056$ Kubikfuss eine Spannkraft von 19 Pfund gäbe?

i) 1000 Kubikfuss Wasserdampf bei 100° C. werden von dem verdampfenden Wasser getrennt (damit der Dampf hernach nicht gesättigt werde) und auf weitere 20° erwärmt, während der Druck constant bleibt, welchen Raum nehmen sie ein?

k) In einem oben zugeschlossenen Verdichtungs-Manometer beträgt die gehobene Quecksilbersäule 6 Zoll, das Volum der Luft bei gleichem Quecksilberstande nahm 10 Zoll ein, während der äussere Barometerstand 28 Zoll betrug; wie stark ist das darauf wirkende Gas verdichtet?

l) Aristoteles wog, um sich zu überzeugen, ob die Luft schwer sei, eine Blase zuerst mit Luft gefüllt, dann möglichst luftleer im zusammengepressten Zustande, fand aber in beiden Fällen dasselbe Gewicht und schloss, dass die Luft schwerlos sei. Warum fand er dasselbe Gewicht, da die Luft doch schwer ist?

m) Versuche lehren, dass Wasserdampf von 100° C. bei $b = 760^{mm}$ einen 1700mal grössern Raum einnimmt, als Wasser bei 0° C. und dass atmosphärische Luft von 0° C. bei 760^{mm} ein 770mal grösseres V besitzt, als ein gleiches Gewicht Wasser von 0°, wie gross ist unter diesen Umständen die Dichte des Wasserdampfes, wenn jene der Luft = 1 gesetzt wird?

n) Wie gross ist das Gewicht des Wassers, welches in 10 Kubikfuss Wasserdampf von 100° C. enthalten ist?

o) Wie ist es möglich aus der bekannten Siede-Temperatur des Wassers an zwei Orten von dem Höhenunterschiede H, diese Erhebung H des einen über den andern zu finden?

p) Wie gross ist die Geschwindigkeit c in Wiener Fuss, mit welcher die Luft bei der Temperatur $t = 18°$ C. und beim Barometerstand $b = 0{\cdot}76$ Meter in den leeren Raum strömen würde, wenn der Quecksilbersäule von 0·76 Meter eine Wassersäule von 10·395 Meter das Gleichgewicht hält, und die Dichte des Wassers bei angenommener Temperatur und Druck 850mal grösser ist als die der Luft?

q) Wie gross ist die Kraft, mit welcher ein Wind mit der Geschwindigkeit von 40 Fuss ein Segel von 5 □° und 4 □′ treibt, wenn er es unter dem Neigungswinkel von 45° trifft?

r) Es soll der Druck berechnet werden, mit welchem der Dampf von p Atmosphären Spannkraft auf den Kolben im Dampfcylinder drückt, wenn die Kolbenfläche f Quadratdecimeter und der Druck einer Atmosphäre auf einen Quadratmeter 10,333 Kilogramm beträgt?

s) Wie viel Kilogramm-Meter beträgt die Arbeit des eben gedachten Dampfes nach n Kolbenhüben, wenn der Widerstand

gleich dem Dampfdrucke gesetzt wird und die Hubhöhe h Decimeter beträgt?

t) Wie gross ist die Arbeitsgrösse, die ein Kilogramm Dampf unter den angegebenen Umständen im Dampfcylinder verrichtet, wenn das Volumen V von einem Kilogramm Dampf gleich ist dem $n$fachen Volumen v des Dampfcylinders?

u) In welcher Zeit consumirt eine Dampfmaschine von einer Pferdekraft oder 75 Kilogramm-Meter ein Kilogramm Dampf, wenn sie mit dem Atmosphärendruck $= 1$ arbeitet und das Volumen von einem Kilogramm Dampf unter dem Druck von einer Atmosphäre 1681 Kubikdecimeter beträgt?

§. 5. Akustik.

a) Eine Schallwelle in der Luft hat 6 Fuss Länge, wie gross ist die Schwingungsdauer eines ihrer Lufttheilchen?

b) Wie verhalten sich die Wellenlängen des tiefsten Tones, bei welchem 16 Schwingungen in der Secunde stattfinden, und des höchsten noch hörbaren Tones von 36,500 Schwingungen in der Secunde?

c) Wie weit müssen die Wellenoberflächen zweier Schallwellen wenigstens von einander entfernt sein, damit sie nach einander zum Gehörorgane kommend als getrennte Eindrücke wahrgenommen werden?

d) Wie weit ist eine Gewitterwolke entfernt, wenn 20 Secunden zwischen dem Aufblitzen und dem Beginne des Donners vergehen?

e) Warum hört man höhere Töne in grössern Entfernungen als niedere?

f) Wie gross ist die absolute Tonhöhe einer Saite von 3 Fuss Länge, 0·6 Linien Dicke, vom specifischen Gewichte 0·5, wenn sie durch ein Gewicht von 20 Pfunden gespannt wird?

g) Dem tiefsten Tone $\underline{\underline{C}}$ einer Orgelpfeife entsprechen 16 Schwingungen in der Secunde, wie viele Schwingungen entsprechen den Tönen $\underline{C}$, C, c, $\bar{c}$ etc.

h) Wie gross ist die Schwingungszahl einer Quinte in der gleichschwebenden Temperatur?

i) Eine Stimmgabel gibt den Ton $\overline{c}$, wie viele Schwingungen macht sie in einer Secunde?

k) Wie gross ist die Wellenlänge des Tones dieser Stimmgabel?

l) Wie lang muss eine offene oder eine gedeckte Pfeife sein, um denselben Ton zu geben, wie die angeführte Stimmgabel?

m) Laplace hat gezeigt, dass die Schallgeschwindigkeit von der Temperatur abhängig ist, worin liegt der Grund, wie ist die Geschwindigkeit bei grösserer Temperatur, richtet sie sich auch nach dem Luftdrucke?

§. 6. Magnetismus.

a) Es sei H die Stärke der horizontalen Componente des Erdmagnetismus, M das eigene Drehungsmoment des Magnetes, wie verhält sich sein grösstes Drehungsmoment zu jenem, das sich bei einem Neigungswinkel von 30^0 gegen den magnetischen Meridian an der Nadel äussert? und allgemein, wie, wenn dieser Neigungswinkel φ ist?

b) Eine aus dem magnetischen Meridian verschobene Declinationsnadel macht an einem Orte in der Zeit T 30 Schwingungen, an einem andern Orte in derselben Zeit 40, wie gross ist die Kraft, welche die Nadel in den Meridian zieht, am zweiten Orte, wenn jene am ersten gleich Eins gesetzt wird? und wie verhalten sich überhaupt diese Kräfte rücksichtlich der Schwingungszahlen?

c) Wie gross ist der Magnetismus einer Nadel, die in der Minute 50 Schwingungen macht, wenn man den Magnetismus einer andern Nadel, die in der Minute 20 Schwingungen macht, gleich Eins setzt?

d) Wie gross ist das Drehungsmoment oder die Kraft, mit welcher ein Magnet eine senkrecht auf die Mitte seiner Längsrichtung in der Entfernung von 100^{mm} befindliche Nadel zu drehen strebt, ausgedrückt durch die horizontale Componente H, wenn der Ablenkungswinkel $w = 45^0$ beträgt?

e) Wie gross ist das Trägheitsmoment obiger Magnetnadel von 100^{mm} Länge, 10^{mm} Breite und 60,000 mlgr. Gewicht bei der Beschleunigung $g = 1^{mm}$, und wie gross die Kraft, mit welcher



diese Nadel in Folge der horizontalen Componente H aus ihrer auf den magnetischen Meridian senkrechten Stellung in den Meridian zurückgeführt wird, wenn dieselbe in einer Minute zehn Schwingungen macht?

f) Wie gross ist die horizontale Componente H des Erdmagnetismus, nach dem absoluten Maasse, an einem Orte, wo man an einem und demselben Magnete die in den zwei letzten Aufgaben enthaltenen Beobachtungen macht?

g) Wie gross ergibt sich endlich aus den gewonnenen Resultaten die ganze erdmagnetische Kraft P bei einer Inclination von 65^0?

§. 7. Electricität.

a) In einem Condensator oder in einer Verstärkungsflasche wird von der zugeleiteten Electricität E der m^{te} Theil $m\,E = e$ von der entgegengesetzten Electricität gebunden; wie gross ist die gebundene Electricität auf der Zuleitungsseite und wie gross die freie, wenn $m = 0{\cdot}95$; und wie gross ist das Verhältniss der gesammten E zu der freien oder die condensirende Kraft?

b) Eine aus vier Elementen bestehende Volta'sche Säule wird an einem Ende mit der Erde leitend verbunden. Welches ist der Zustand der electrischen Spannung in der Säule, wenn man bedenkt, dass die Erde jede Art Electricität ausgleicht?

c) Hat man eine Tangenten-Boussole und ein Voltameter, gleichzeitig in den Schliessungsleiter einer Electricitätsquelle eingeschaltet und wird die Nadel um 30^0 abgelenkt, während in einer Minute fünf Kubikcentimeter Knallgas, reducirt auf 0^0 C., und $b = 760^{mm}$ entwickelt wird; wie gross ist der Reductionsfactor der Tangenten-Boussole, d. h. wie viel Kubikcentimeter werden durch einen Strom, der die Nadel in derselben Tangenten-Boussole auf 45^0 ablenkt, während derselben Zeit, bei gleichem Luftdrucke und gleicher Temperatur entwickelt werden?

d) Ein Draht von 30 Fuss Länge und 0·5 Linien Dicke leistet dem Strome einen bestimmten Widerstand W, wie lang muss ein 0·3 Linien dicker Draht von derselben materiellen Beschaffenheit sein, damit er jenem äquivalent sei?

e) Nimmt man den Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes von 1 Meter Länge und 1 Millimeter Dicke als Einheit an, wie

gross ist dann der Leitungswiderstand eines Kupferdrahtes von 40 Meter Länge und 0·5 Millimeter Dicke?

f) In den Schliessungsbogen eines Bunsen'schen Elementes wird eine Tangenten-Boussole eingeschaltet; die Nadel zeigt auf 30°, wenn der Schliessungsbogen aus einem 1 Linie dicken, 10 Fuss langen Kupferdrahte besteht, auf 25°, wenn dieses durch einen 1 Linie dicken Kupferdraht von 15 Fuss Länge ersetzt wird, und auf 16°, wenn beide Drähte zugleich eingeschaltet sind; wie gross ist die electromotorische Kraft E, und wie gross der Leitungswiderstand K des Elementes?

§. 8. Optik.

a) Der Schatten eines von der Sonne beschienenen Baumes beträgt 45 Fuss, der eines daneben stehenden Stabes von 4·5 Fuss Höhe aber 2 Fuss, wie hoch ist der Baum?

b) Ist R der Erdhalbmesser, so ist 112 R der Halbmesser der Sonne; beträgt nun die Entfernung beider Himmelskörper in runder Zahl 20 Millionen Meilen, wie lang ist der Kegelschatten der Erde, ausgedrückt in Erdhalbmessern, wenn $R = 860$ M. gesetzt wird, und wie weit reicht der Schatten über den Mond hinaus, die Entfernung des Mondes $= 60\,R$ vom Erdmittelpunkte gerechnet?

c) Nimmt man die Lichtstärke einer Apollokerze, mit der sie eine Fläche in der Entfernung von 1 Fuss erleuchtet, zur Einheit an, wie gross ist die Lichtstärke einer Gasflamme, welche dieselbe Fläche in der Entfernung von 3 Fuss ebenso stark erleuchtet?

d) Am Ufer eines ruhig stehenden Wassers sind erhabene Gegenstände, es sollen die Strahlen, und von einem Punkte ein Lichtkegel, gezogen werden, welche das Bild im Wasser erzeugen, und soll angegeben werden, wo das Auge sein müsste, um die Gegenstände gerade so zu sehen, wie jetzt im Wasser?

e) Wie hoch ist ein Thurm, wenn ein 40 Klafter entferntes Auge in einem horizontalen Spiegel oder im Wasser seine Spitze sieht und das Auge 4 Fuss über der spiegelnden Fläche und 2 Fuss von derselben entfernt ist?

f) Im Kaleidoscop beträgt der Neigungswinkel der Winkelspiegel 60°, es sollen die Bilder eines in der Mitte des Winkels liegenden Gegenstandes verzeichnet werden.

g) An dem Instrumente für das Brechungsgesetz beobachtet man bei dem Einfallswinkel von 30^0 im Wasser einen Brechungswinkel von 22^0, wie gross ist der Brechungsexponent für einen Strahl, der aus der Luft in's Wasser geht?

h) Wie gross ist der Einfallswinkel, über den hinaus kein gebrochener Strahl mehr aus der Luft in's Glas eindringt, wenn der Brechungsexponent zwischen Luft und Glas $^3/_2$ ist?

i) Der brechende Winkel eines Prismas beträgt 30^0, der kleinste Ablenkungswinkel für eine Fraunhofer'sche Linie 36^0, wie gross ist der Brechungsexponent des Materials des Prismas?

k) Die Brennweite einer Sammellinse beträgt 6 Zoll, ein Gegenstand in der Entfernung von 3 Zoll wird durch dieselbe angesehen, wie gross und wo ist das Bild bezüglich des Gegenstandes?

l) Das Zerstreuungsvermögen des Flintglases verhält sich zu dem des Crownglases wie 1 : 0·588, man will eine achromatische Linse von 10 Zoll Brennweite, wie gross muss die Brennweite p von der Flint-, wie gross p' von der Crownglaslinse genommen werden?

m) Wie gross ist der wirkliche Durchmesser des Mondes, wenn der scheinbare 31 Minuten, 3 Secunden und die Entfernung 51,830 geogr. Meilen beträgt?

n) Wie weit ist ein Adler von 8 Fuss Flügelweite entfernt, wenn er als ein blosser Punkt erscheint und ein gesundes Auge in reiner Luft bei mässiger Beleuchtung einen Gegenstand unter einem Sehwinkel von 20 Secunden noch sieht?

o) Wie gross ist die lineare Vergrösserung bei einem zusammengesetzten Microscope und wie lang muss dessen Röhre sein, wenn die Brennweite des Objectivs 1·5 Linien, die des Oculars 6 Linien, die Entfernung des Gegenstandes vom Objectiv 2 Linien und die deutliche Sehweite des Beobachters 10 Zoll beträgt?

p) Die grossen astronomischen Fernröhre, Refractoren genannt, die gegenwärtig auf den Sternwarten zu Pulkawa und Cambridge im Gebrauche sind, haben 14 Zoll Objectivöffnung, das Objectiv hat 21 Fuss Brennweite, wie gross ist ihre lineare Vergrösserung, wenn das Ocular eine Brennweite von 1·26 Zoll hat?

§. 9. Wärme.

a) Eine Eisenstange hat bei 30° C. die Länge von 6 Fuss, wie lang ist sie bei 0° C., wenn der Ausdehnungs-Coëfficient = 0·0000114 ist?

b) Eine rechteckige Schlussplatte von Gusseisen hat 100 Quadratzoll Fläche bei 0°, wie gross ist ihre Fläche bei 40° C. wenn der Ausdehnungs-Coëfficient des Gusseisens = 0·00001109 gesetzt wird?

c) Eine Glaskugel von 1 Kubikfuss Inhalt bei 0° C. wird mit Wasser von 100° C. gefüllt, wie gross ist ihr Inhalt, wenn der Ausdehnungs-Coëfficient des Glases = 0·000009 beträgt?

d) Bei 18° C. beobachtet man einen Barometerstand von 330·2 Par. Linien, wie gross ist der auf die Normaltemperatur von 0° reducirte Barometerstand?

e) Zu einer Rostpendel-Compensation braucht man zwei Zinkstäbe, wie lang müssen sie sein, wenn das Pendel eine 3 Fuss lange Eisenstange und der Ausdehnungs-Coëfficient des Zinks = 0·0000294 ist?

f) Um die specifische Wärme des Quecksilbers aufzufinden, mischt man z. B. 1 Pfund Quecksilber von 50° C. mit 1 Pfund Wasser von 8° C. und beobachtet eine Mischungstemperatur von 9°·3 C., wie gross ist die specifische Wärme des Quecksilbers?

g) Mischt man 3 Pfund Eis von 0° mit 7 Pfund Wasser von 100° C., so erhält man Wasser von 46°·2 C., wie gross ist die beim Schmelzen von 1 Pfd. Eis gebundene Wärme?

h) Die Erfahrung lehrt, dass wenn Eis von 0° C. von einer constanten Wärmequelle geschmolzen wird und das Schmelzen in vier Minuten vollbracht ist, dass dieselbe Wärmequelle das Wasser von 0° auf 100° C. in fünf Minuten und darnach in 27 Minuten ganz in Dampf von 100° C. verwandelt, wie gross ergibt sich daraus die latente Wärme des Wassers bei 0° C., wie gross die des Wasserdampfes bei 100° C.?

§. 10. Astronomie.

a) Wie viel beträgt die Entfernung der Sonne von der Erde, wenn man den Erdhalbmesser 859 geogr. Meilen setzt, die Hori-

zontalparallaxe der Sonne 8″.6 und die Länge des Bogens 1″ = 0·000004848 beträgt?

b) Wie gross ist der Halbmesser der Sonne, ausgedrückt in Erdhalbmessern, wenn der Halbmesser der Sonne unter dem Sehwinkel von 963″ erscheint?

c) Wie gross ist der Durchmesser des Mondes, wenn der Mond in der Entfernung von 51,830 geogr. Meilen einen scheinbaren Durchmesser von 31 Minuten, 3 Secunden hat?

d) Wie gross berechnet sich die Geschwindigkeit des Lichtes aus der Aberration desselben, wenn man die mittlere Geschwindigkeit der Erde = 4·12 Meilen nimmt?

e) Wird der wirkliche Durchmesser des Mondes = 468 Meilen und die Entfernung des Mondes vom Erdmittelpunkte = 60 Erdhalbmesser gesetzt, wie lang ist der Mondesschatten?

f) Und wie breit ist der normale Durchschnitt desselben, dort wo ihn die Erde zur Zeit der Sonnenfinsterniss passirt? und wie entsteht die ringförmige Sonnenfinsterniss?

g) Wie breit ist der normale Durchschnitt des Erdschattens, dort, wo ihn der Mond zur Zeit der Mondesfinsterniss passirt?

h) Wie weit muss sich also der Mond der Ebene der Erdbahn nähern, damit eine Mondesfinsterniss entstehen kann?




Lehrbuch der physik.
Cabot Science
003445855
3 2044 091 958 025
Digitized by Google